

Б.С. Теоретический анализ формоизменения поковки «остряк» вальцовкой / Теоретичні і прикладні задачі обробки металів тиском та автотехнічних експертиз. Збірник тех доповідей міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 30 травня- 2 червня 2011 року.- Вінниця: ВНТУ, 2011. –С.139-141 4. Мкртчян Е.А. Разработка оптимального технологического процесса изготовления поковки «остряк» / Е.А. Мкртчян, Б.С. Каргин // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. - № 7. – С. 227-230. 5. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П.И. Палухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин.– М.: Металлуриздат, 1983.- 352 с.

УДК 621.438.002.2

ТИТОВ В.А., докт. техн. наук, проф., НТУУ “КПИ”, Киев

ЛАВРИНЕНКОВ А.Д., аспирант, НТУУ “КПИ”, Киев

БАСОВ А.Ю., нач. отдела АО “Мотор Сич”, Запорожье

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МОНОКОЛЕСА ТИПА ДИФФУЗОР РАДИАЛЬНЫЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКОЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК4-1

С помощью метода конечных элементов выполнено математическое моделирование процесса изотермической штамповки моноколеса авиационного двигателя. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния отштампованной детали, оценено влияния геометрии заготовки и скорости деформирования на технологические параметры процесса.

За допомогою методу скінченних елементів виконано математичне моделювання процесу ізотермічного штампування моноколеса авіаційного двигуна. Проведений аналіз напружено-деформованого стану відштампованої деталі, оцінено вплив геометрії заготовки та швидкості деформування на технологічні параметри процесу.

The mathematical modeling of isothermal forming of the monowheel of aircraft engine was made by finite element method. The analysis of mode of deformation of stamped detail was carried out, the influence of workpiece's geometry and deformation velocity on technological parameters of process were estimated.

Надежность и ресурс современной авиационной техники в значительной мере зависит от эффективности авиационных двигателей и их комплектующих деталей. В связи с этим к деталям авиационных двигателей предъявляются высокие требования по параметрам качества, в первую очередь по механическим свойствам и точности [1, 2, 3].

Характерным видом деталей авиационных двигателей, к которым предъявляются высокие требования по качеству и эксплуатации в составе изделия являются моноколеса. Они представляют собой диски, выполненные единой с лопатками аэродинамической формы. В зависимости от функционального назначения по конструктивному признаку моноколеса разделяются на типы, которые отличаются взаимным расположением пера лопатки с диском [4, 5, 6].

В настоящее время моноколеса, как правило, изготавливаются методами механической обработки, в результате чего 50-80% металла уходит в стружку. Также при механической обработке моноколеса не удастся получить благоприятное распределение металла, которое бы способствовало максимальному сопротивлению возникающих в ходе эксплуатации нагрузок, вибронагрузок и т.д.

Перспективным способом получения моноколес является горячая объемная штамповка, применение которой позволяет получить благоприятное формирование текстуры материала в теле диска и лопатки, что обеспечивает повышенное сопротивление нагрузкам возникающим в ходе эксплуатации, обеспечивает увеличение ресурса детали, уменьшает затраты материала, а также значительно уменьшает трудоемкость ее изготовления на 50...60 %. При горячей штамповке моноколес возможно получить деталь с рабочими поверхностями (перо лопатки) не требующими последующей механической обработки или с минимальными припусками и напусками на последующую механическую обработку. Это позволяет сохранять полученные механические свойства материала, как результат течения его в полость ручья штампа [7, 8, 9].

Как видно из приведенных данных, для получения моноколес применяются паровоздушные молоты, высокоскоростные молоты или гидравлические прессы большого усилия. Применение оборудования, способного развивать значительные усилия при штамповке моноколес обусловлено тем, что в большинстве случаев производится точная штамповка деталей. Необходимо получить качественное заполнение штамповочного ручья, особенно в местах функциональных частей моноколеса, таких как перо лопатки. Также большой класс моноколес, особенно моноколеса класса – диффузор радиальный имеют малую относительную толщину диска $s_{отн} = \frac{h}{D}$, где h – толщина диска моноколеса, D – диаметр диска моноколеса. Одновременно с этим моноколеса имеют большое соотношение высоты пера лопатки к толщине диска $k = \frac{h_n}{h}$.

Данные особенности геометрии моноколес являются причиной затрудненного течения металла в полость штамповочного ручья соответствующего перу лопатки. Поэтому применение молотов и гидравлических прессов большого усилия необходимо для обеспечения полного заполнения ручья штампа.

Очевидно, что в случае закрытой, точной штамповки моноколес типа – диффузор радиальный ключевую роль в величине технологического усилия будут играть форма ручья, форма заготовки и ее расположение в штамповочном ручье, а также скорость деформирования.

Целью данной работы была оценка энергосиловых параметров и напряженно-деформированного состояния при формировании моноколеса типа диффузор радиальный в условиях изотермической штамповки из алюминиевого сплава АК4-1.

Для оценки влияния данных параметров на технологические параметры штамповки было проведено математическое моделирование процесса с

использованием программного комплекса DEFORM, а именно модуля DEFORM-3D, который позволяет отслеживать перемещение материальных частиц заготовки при заполнении полости ручья штампа. Это дает возможность оптимизировать технологические параметры процесса, такие как скорость деформирования, необходимое усилие деформирования, температуру нагрева и также геометрию ручья.

Деталь – моноколесо “Диффузор радиальный”, чертеж которой показан на рис. 1, является представителем деталей сложной конфигурации. Относительная толщина диска моноколеса составляет $s_{отн} = 0,009$, а отношение высоты пера лопатки к толщине диска - $k = 3,5$.

Эффективность реализации конструктивных решений большей частью определяются технологией. Проектирование технологического процесса должно обеспечивать увеличение производительности труда и качества изделия с одновременным уменьшением трудовых затрат на их изготовление. В связи с этим получение заготовки детали осуществляется методом изотермической штамповки.

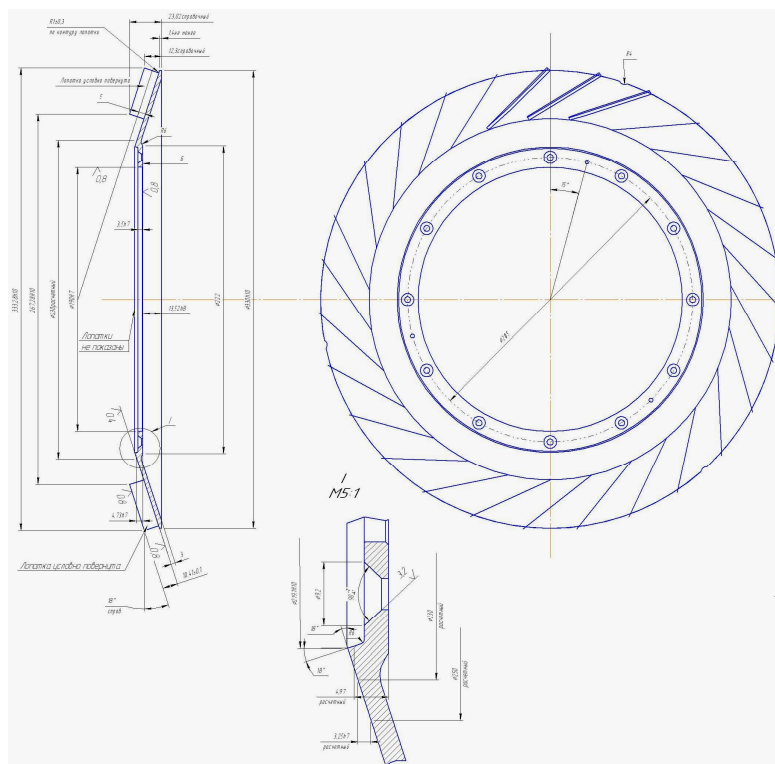


Рис. 1. Чертеж детали «Диффузор радиальный»

Деталь изготавливается из жаропрочного алюминиевого сплава АК4-1, химический состав которого приведен в табл. 1, а механические характеристики сплава при поставке в виде листа или плиты для данного сплава приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав сплава АК4-1 в соответствии с ГОСТ 4784-97

Fe, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %	Ti, %	Al, %	Cu, %	Mg, %	Zn, %	Примеси, %
0,8-1,4	До 0,35	До 0,2	0,8-1,4	До 0,1	0,02-0,1	93,05-95,28	1,9-2,7	1,2-1,8	До 0,3	0,1

Таблица 2 – Механические характеристики сплава АК4-1

Сортament	Предел прочности, МПа	Предел текучести для остаточной деформации	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Термообработка
Лист	380	310	6	200	
Плита	385-390	295-395	6		Закалка, старение

При расчете использованы данные для зарубежного аналога по химическому составу сплава АК4-1 – алюминиевого сплава 2618. В библиотеке материалов DEFORM-3D для сплава 2618 есть три кривых деформирования для температур 260 °С, 370 °С и 480 °С (рис. 2).

Диаграмму истинных напряжений $\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}, T)$ аппроксимировали ступенчатой зависимостью (где σ_s – истинное напряжение, ε_i – интенсивность деформаций, $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформаций, T – температура).

Схема штамповки показана на рис. 3. Заготовка 1 укладывается в штамповое пространство, которое состоит из центральной вставки 3, формовочных матриц 4 и 5, и внешней вставки 6. Штамповка детали происходит при ходе пуансона 2 вниз с постоянной скоростью V_y . По данным, приведенным в [10], нижнему и верхнему интервалам штамповки сплава АК4-1 соответствуют температуры 430 °С и 470 °С соответственно. При моделировании процесса температура детали и инструмента соответствовала 450 °С. Принимая во внимание относительную толщину диска $S_{отн}$ выполнена оценка технологического усилия процесса в зависимости от геометрии заготовки и скорости деформирования. Исходя из этого, моделирование процесса проводилось с разными скоростями деформирования и формой заготовки.

Параметры технологического процесса для математического моделирования представлены в табл. 3. Влияние геометрии заготовки на технологическое усилие штамповки проводилось при одинаковой скорости перемещения пуансона (рис. 4). Размеры заготовка на рис. 4 соответствуют размерам, указанным в табл. 3.

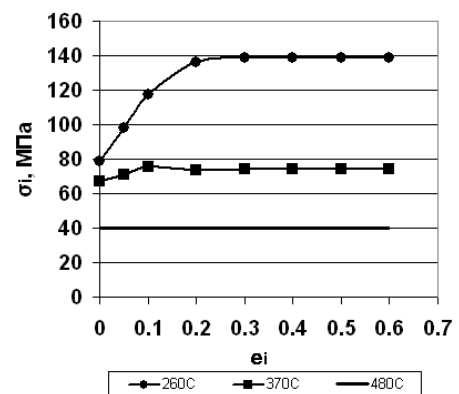


Рис. 2. Кривые упрочнения сплава АК4-1 (2618) при температурах 260 °С, 370 °С и 480 °С

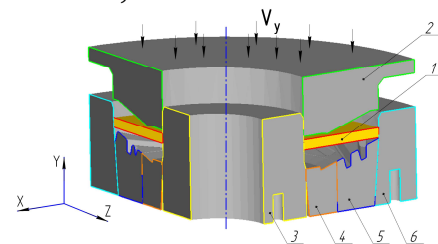
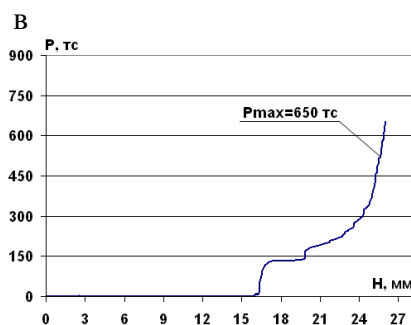
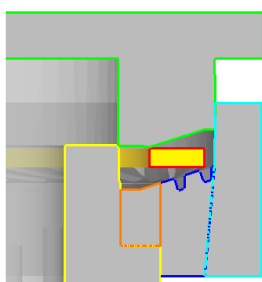
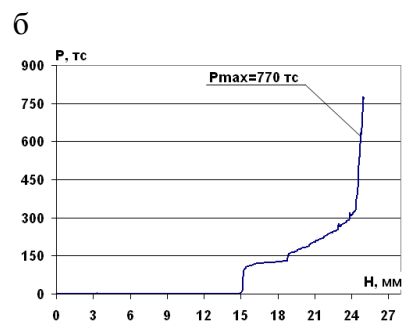
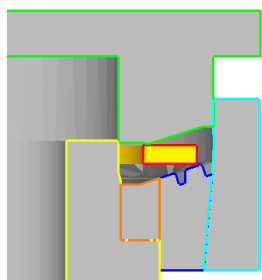
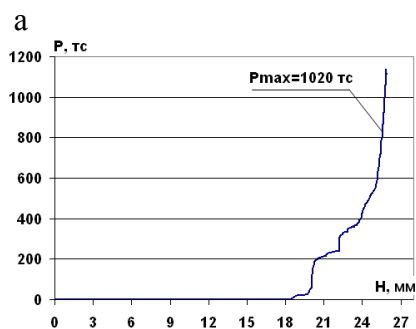
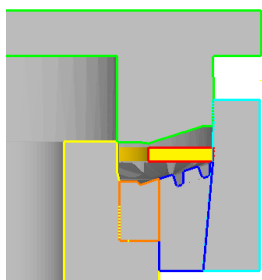
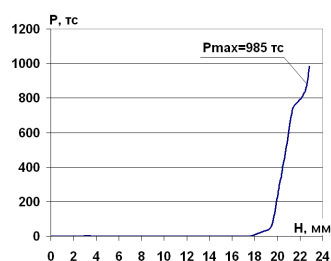
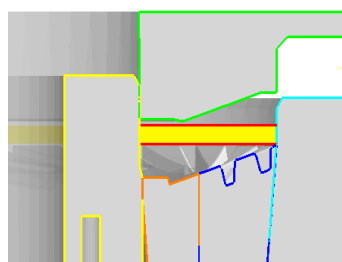


Рис. 3. Схема процесса: 1. Заготовка; 2. Пуансон; 3. Центральная вставка; 4. Формовочная матрица; 5. Формовочная матрица; 6. Внешняя вставка.

Таблица 3 – Параметры технологического процесса

№	Параметры технологического процесса	Показатель			
1	Материал заготовки	АК4-1			
2	Температура заготовки, °C	450			
3	Температура оснастки, °C	450			
4	Размеры заготовки, мм	а	б	в	г
	d	184	236	226	236
	D	344	344	315	326
	H	9,3	12,4	15,9	15,2
5	Материал заготовки	АК4-1			
6	Материал инструмента	абсолютно жесткий			
7	Смазка	жидкая			
8	Коэффициент трения	0,3			
9	Скорость пуансона, мм/с	0,001-10			



г

Рис. 4. Зависимость технологического усилия P от геометрии заготовки

Как видно из рис. 4, резкий рост усилия связан с полным заполнением рабочей полости штамповочных матриц. Это усилие зависит от геометрии заготовки. Максимальные усилия штамповки соответствуют геометрии заготовки на рис. 4, а, б. При геометрии заготовки показанной на рис. 4, а, заполнение полостей формовочной матрицы 4 (рис. 2) происходит быстрее, чем заполнение полостей штамповочной матрицы 5. Схема напряженного состояния в данной области – всестороннее сжатие. Компоненты тензора напряжения более интенсивно увеличиваются, чем в других областях заготовки, что обуславливает резкий рост усилия.

При форме заготовки, показанной на рис. 4, б, заполнение полостей формовочной матрицы 5 соответствующим перьям лопатки происходит быстрее, чем заполнение формовочной матрицы 4. В случае геометрии заготовки показанной на рис. 4, а и б, интенсивный рост усилия связан с затрудненным перераспределением металла из областей штамповочных матриц, где заполнение уже произошло в незаполненные области.

Минимальные технологические усилия штамповки обеспечиваются при форме заготовки, которые представлены на рис 4, г и д. При данных размерах заготовки заполнение полостей обеих формовочных матриц происходит более равномерно, чем в случаях с заготовками на рис. 4, а и б. Уменьшение необходимого усилия штамповки происходит также и за счет изменения геометрии формовочной матрицы 4 показанной на рис. 5.

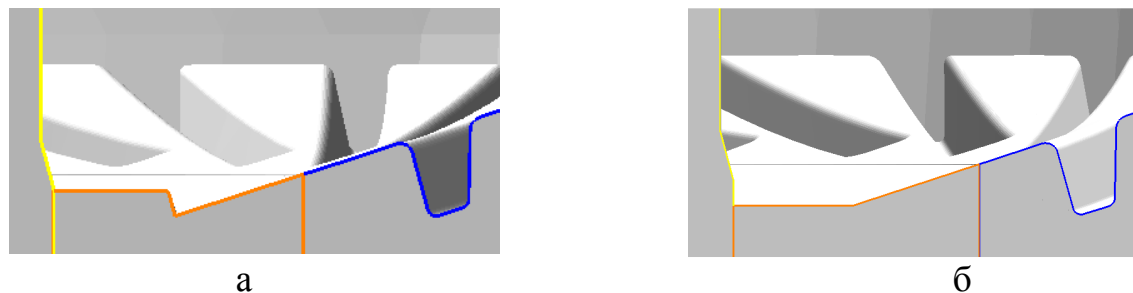


Рис. 5. Форма рабочей поверхности матрицы
а – при форме заготовки на рис. 4, а, б.
б – при форме заготовки на рис. 4, в, г.

Уменьшение необходимого технологического усилия штамповки обеспечивается за счет точного подбора геометрии формы заготовки, а именно внутреннего и наружного радиусов, и упрощения элементов формовочных матриц, где возможны зоны повышенного сопротивления деформации. Форма заготовки должна быть такой, при которой в момент завершения хода пуансона заполнение полостей штамповочных матриц происходило практически одновременно, без возникновения зон затрудненных деформаций.

На рис. 5 показана конечная форма заготовки детали «Диффузор радиальный», полученная в результате моделирования. Как видно происходит полное заполнение металлом полостей штамповочных матриц.

На рис. 6, а, показано распределение интенсивности деформации ε_i деформированной заготовки. Наибольшая интенсивность деформаций ε_i



Рис. 5. Отштампованная
заготовки детали
«Диффузор радиальный»

соответствует областям радиусного перехода от диска моноколеса к перу лопатки. Этим же зонам соответствует максимальная интенсивность напряжений σ_s (рис. 6, б).

Максимальная величина интенсивности напряжений в местах радиусного перехода составляет 42-48 МПа.

Осевые напряжения σ_y по объему металла детали являются сжимающими (рис. 6, в) с максимальным значением -247 МПа в местах полного заполнения металлом полостей штамповочной матрицы 5, соответствующим

перьям лопаток. Несколько ниже сжимающие напряжения в местах заполнения металлом полостей штамповочной матрицы 4, так как полное заполнение матрицы 4 происходит позже, чем заполнение полостей матрицы 5. На рис. 7, а и б, показано распределение интенсивности деформаций ϵ_i и интенсивности напряжений σ_s на конечном этапе штамповки в теле пера лопатки. Наибольшие значения интенсивности деформаций и напряжений соответствуют зонам радиусного перехода от диска моноколеса к перу лопатки. После прохождения металлом радиусного перехода происходит формовка пера лопатки, где значения ϵ_i и σ_s практически одинаковое по объему пера лопатки.

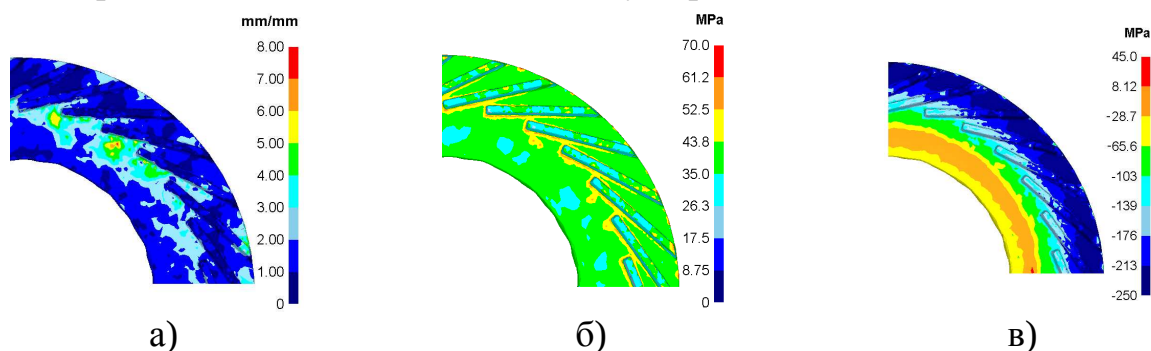


Рис. 6. Распределение интенсивности деформации ϵ_i (а), интенсивности напряжений σ_s (б) и осевых напряжений σ_y (в) деформированной заготовки

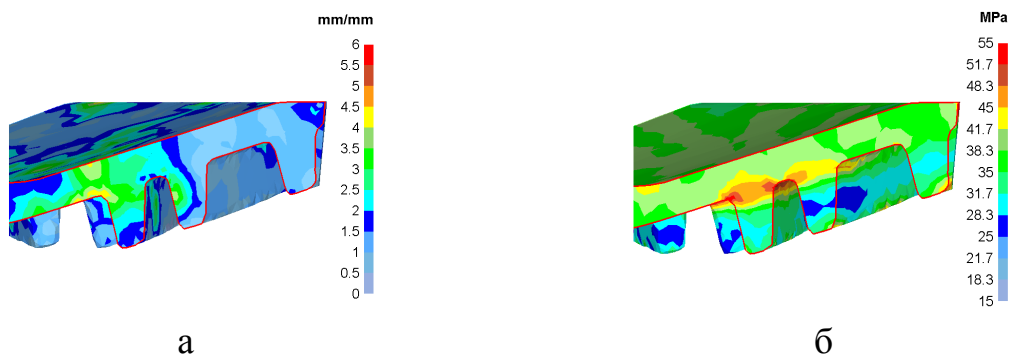


Рис. 7. Распределение интенсивности деформаций ϵ_i и интенсивности напряжений σ_i в характерном сечении – области пера лопатки

Распределение нормальных напряжений на поверхности пуансона показано на рис. 8.

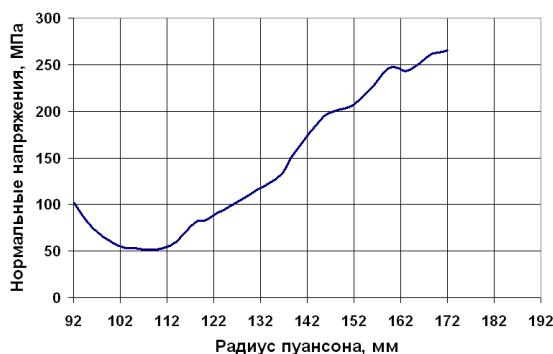


Рис. 8. Распределение нормальных напряжений на пуансоне.

При штамповке данной заготовки происходит интенсивное перераспределение и течение всего металла заготовки. На рис. 10 показано направление течения материала в плане (а) и в характерном сечении детали – теле лопатки (б).

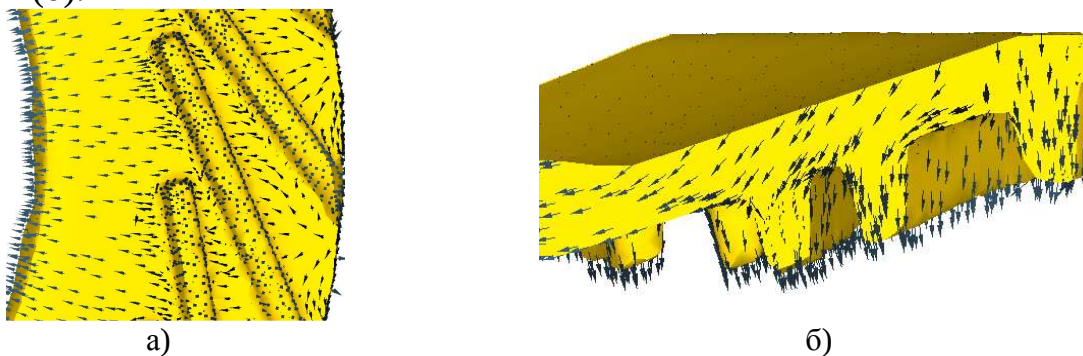


Рис. 9. Векторы перемещения металла при заполнении штамповочных матриц

Влияние скорости деформирования на технологическое усилие процесса было проведено при самой неблагоприятной форме и расположения заготовки, соответствующей рис. 4, а. Для этого была задана различная скорость перемещения пуансона, которая варьировалась от 0,001 до 10 мм/с. По результатам моделирования получен график зависимости технологического усилия от логарифма скорости перемещения пуансона. (рис. 10).

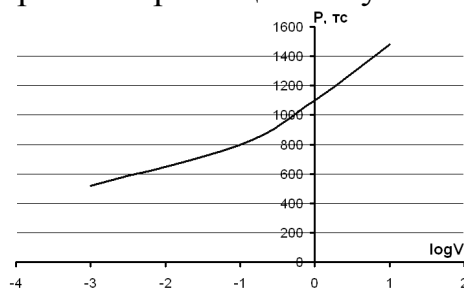


Рис. 10. Зависимость технологического усилия от скорости деформирования V , мм/с.

Как видно из графика скорость деформирования оказывает существенное влияние на технологическое усилие, это связано с тем, что данная деталь имеет множество очагов деформации – радиусных переходов от диска моноколеса к перьям лопаток.

Выводы:

1. Снижение необходимого технологического усилия процесса обеспечивается за счет выбора формы заготовки и ее расположения в штамповочном пространстве. В результате этого заполнение штамповочного пространства происходит равномерно без возникновения зон затрудненной деформации.

2. Установлена зависимость технологического усилия от скорости деформирования, которая позволяет регламентировать параметры процесса деформирования.

Список литературы: 1. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко; В.Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993. – 332 с. 2. Богуслаев В.А. Технология производства авиационных двигателей / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, В.Ф. Мозговой. - Запорожье, изд. ОАО “Мотор Сич”, 2000. – 945 с. 3. Братухин А.Г. современные технологии авиастроения / А.Г. Братухин, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с. 4. Зубов В.П. Анализ конструктивно-технологических особенностей монолитных колес газотурбинных двигателей / В.П. Зубов, Г.А. Пудовина // Приложение к журналу “Авиационная промышленность”. – 1990. - №2. 5. Дмитриевский В.И. Нагнетатели и наддув авиационных двигателей / В.И. Дмитриевский, К.В. Холщевников. – М.: Оборонгиз, 1939. 6. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М.: Машиностроение, 1976. 7. Данилов Ю.П. Новые технологии получения турбинных колес с лопатками / Ю.П. Данилов, И.И. Осипов, В.М. Воробьев // Авиационная промышленность. – 1974. - №12. – С. 18-19. 8. Осипов И.И. Высокоскоростная радиальная штамповка рабочих колес турбоагрегатов / И.И. Осипов, В.М. Воробьев // Авиационная промышленность. – 1976. - №2. 9. Воробьев В.М. Исследование и разработка новой технологии получения штампованных колес с лопатками / В.М. Воробьев, В.В. Тихонов // Сб “Повышение точности и качества при штамповке”. – М.: МДНТП. – 1975. С. 47-55. 10. Атрошенко А.П. Горячая штамповка труднодеформируемых материалов / А.П. Атрошенко, В.И. Федоров. – Ленинград. Машиностроение.- 1979. – 287 с.

УДК 612.431.75

ТИТОВ А.В., асист., НТУУ “КПИ”, Киев

МЕТОДИКА ВЫБОРА РЕЖИМОВ ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ БЛИЗКИХ К ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМУ

Проведено теоретическое исследование влияния смазочного слоя жидкости на контактное взаимодействие инструмента и детали при выглаживании с использованием общих уравнений Навье-Стокса. Построены номограммы для практического выбора оптимизированных параметров скорости обработки и начальной вязкости смазки для создания условий близких к гидродинамическому трению.

Проведено теоретичне дослідження впливу змащувального шару рідини на контактну взаємодію інструмента і деталі при вигладжуванні з використанням загальних рівнянь Нав'є-Стокса. Побудовані номограми для практичного вибору оптимізованих параметрів швидкості обробки та початкової в'язкості змащування для створення умов близьких до гідродинамічного тертя.

The theoretical analysis of effect of lubricating layer on contact interaction of the instrument and the detail was accomplished using the Navier-Stokes equations. The nomograms for the choice of ironing force, velocity of the process and oil viscosity in ironing process were drawn.