

направленою орієнтацією зерен – текстурою. Ці результати підтвердженні шляхом розрахунку в системі DEFORM-3D.

3. Аналіз напруженого стану показав, що максимальні напруження стиску в осередку деформації перевищують 500МПа . По мірі течії матеріалу до зони переходу замкової частини в перо лопатки значно зменшуються. За рахунок швидкості течії металу в зоні переходу виникають розтягуючі напруження величиною $70.1-52.9\text{МПа}$, що може привести до пошкоджуваності металу. Встановлено, що зменшення коефіцієнту тертя сприяє зменшенню розтягуючі напружень.

4. В результаті роботи показано, що коефіцієнт тертя практично не впливає на енергетичні параметри деформування заготовки при ізотермічному пресуванні.

Список літератури: 1. *Богуслаев В.А.* Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Часть I / *Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д., Колесников В.И. и др.* — Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2003 -396 с. 2. *Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф.* Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД . – К: Манускрипт, 1993. - 332 с. 3. *Тимов В.А.* Влияние параметров горячего выдавливания заготовок рабочих лопаток компрессора на качество их изготовления / *Тимов В.А., Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан* и др. // Вісник двигунобудування. – З.: ВАТ «Мотор Січ». – 2009, №2, с. 108-115. 4. *Тимов В.А., Лавріненко А.Д., Злочевська Н.К.* Деякі особливості пластичного деформування металевих композиційних матеріалів з армуючими компонентами довільної форми // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2010. № 59. с. 5. *В.А. Тимов.* Особливості процесів формоутворення заготовок лопаток з титанового сплаву системи $\text{Ti} - \text{TiB}_2$ / *Тимов В.А., О.Я. Качан, О.Г. Моляр, Ю.С. Кресанов, Н.К. Злочевська* // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2011. № 61. с.95 -101

УДК 621.7.044

МОСЬПАН Д.В., асист., КрНУ, Кременчук

ШЛЫК С. В., асп., КрНУ, Кременчук

МОРОЗ Н.Н., канд. техн. наук, доц., КрНУ, Кременчук

ДРАГОБЕЦКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., КрНУ, Кременчук

СНИЖЕНИЕ ДЕФОРМИРУЮЩИХ УСИЛИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ

Наведені проблеми і задачі, які необхідно вирішити для вдосконалення виробництва листових деталей двигунів літальних апаратів. Визначено технологічні напрями при виробництві деталей двигунів. Розроблено технологічні процеси для двох класів деталей – оболонки подвійної кривизни і жолоба. Наводяться приклади практичного застосування результатів.

Listed the problems and tasks that must be resolved for improving the production of sheet parts of aircraft engines. Identified technological trends in the production of engine parts. Developed the

technological processes for two classes of parts – a double curvature shell and trough. The examples of practical application of results are given.

Приведены проблемы и задачи, которые необходимо решить для усовершенствования производства листовых деталей двигателей летательных аппаратов. Определены технологические направления при производстве деталей двигателей. Разработаны технологические процессы для двух классов деталей – оболочки двойной кривизны и желоба. Приводятся примеры практического применения результатов.

В большинстве случаев формообразование элемента или элементов жесткости производится путем изменения толщины заготовки. Значительные трудности связаны с получением крупногабаритных деталей из листа толщиной более 6...8 мм. Традиционные методы изготовления таких деталей требуют использования мощных штамповочных прессов, применение которых ограничивается экономическими возможностями и условиями, что не всегда приемлемо в конкретных условиях предприятий отрасли. Однако внедрить в производство методы обработки, связанные с использованием взрывчатых веществ довольно сложно [1, 2].

Одним из вариантов снижения штамповочных усилий является использование многоциклового (последовательной) штамповки, когда элемент жесткости формуется последовательно по участкам ограниченной зоной очага деформации. Однако при последовательной штамповке на механических и гидравлических прессах трудно обеспечить равномерное распределение деформаций по детали и безопасные условия труда [2].

Многоцикловую (последовательную) штамповку элементов жесткости ряда деталей можно осуществить при последовательном выполнении операций, при которых формоизменение происходит при меньших усилиях [3].

Целью данного исследования является анализ, совершенствование и разработка новых процессов самопроизвольного формоизменения при обработке давлением листовых заготовок.

Для снижения деформирующих усилий, энергоемкости и повышения экологичности можно рекомендовать к использованию следующие устройства, способы, технические приемы, физические процессы:

1. Использование резонансных явлений, возникающих при формоизменении заготовки.
2. Формоизменение заготовки при возникновении локализации деформаций при растяжении и сжатии.
3. Концентрация и накопление энергии в импульсно-деформируемой заготовке.
4. Использование эффекта откола при импульсном формоизменении заготовки.
5. Использование и учет внутренних напряжений, которые возникли в деформируемой заготовке в технологических операциях, предшествующих формоизменяющим операциям (технологическая наследственность), для снижения деформирующих усилий в формоизменяющих и разделительных операциях листовой штамповки.
6. Использование реактивных составляющих деформирующих усилий для интенсификации процесса формоизменения.

7. Использование обратного хода пресса и его упругой разгрузки для выполнения технологических операций и операций интенсифицирующих процесс формоизменения.

8. Разработка устройств для штамповки листовых заготовок кристаллизующейся жидкостью, «разбухающими» металлами и использование процесса эпитаксии для создания высоких давлений.

9. Использование эффектов электро- и сверхпластичности.

10. Использование локального нагружения для формоизменения.

Детали типа «верхний лист» грузового вагона с единичным элементом жесткости в условиях единичного или мелкосерийного производства можно изготовить методом свободной гибки. Образование элементов жесткости происходит в основном путем растяжения материала, находящегося у их основания. Плоские элементы заготовки практически не деформируются. При длине элемента жесткости 15 – 20 его ширины, деформацией заготовки в направлении длины элемента жесткости из-за ее малости можно пренебречь и деформированное состояние считать плоским, а напряженное – линейным. Деформации по поперечному сечению элемента жесткости распределяются неравномерно. Максимальное утонение материала у полукруглых элементов жесткости наблюдается по оси симметрии их поперечного сечения. Ребро жесткости листа верхнего грузового вагона, как правило, изготавливается методом формовки на прессах усилием 5 – 6 МН (при толщине стенки 8мм) и 7 – 8 МН (при толщине стенки 10 мм). Материал заготовки – сталь 09Г2С, ее длина 1000 мм. И, если вагоностроительные предприятия располагают оборудованием соответствующей мощности и размерами штамповочного пространства, то ремонтные – испытывают значительные трудности при изготовлении длинномерных деталей из-за отсутствия необходимого оборудования.

Усилие для штамповки-формовки цилиндрического ребра жесткости из стали 09Г2С по данным Романовского [8] ориентировочно может быть рассчитано по формуле:

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_g \cdot (0,7 \div 1), \quad (1)$$

где L – длина ребра жесткости;

S – толщина заготовки;

σ_g – временное сопротивление разрушения (граница прочности).

Усилие штампования ребра жесткости для стали 09Г2С толщиной $S = 8$ мм, длиной ребра $L = 1000$ мм и $\sigma_g \approx 50$ кг/мм² составляет

$$P = 1000 \cdot 50 \cdot 8 = 400000 \text{ кг} = 400 \text{ т}$$

Усилие одноугловой гибки [1] составит

$$P_1 = 1,25 \cdot B \cdot S \cdot \sigma_g \cdot k_2 = 50 \text{ т} \quad (2)$$

При разгибании полок усилие составит $2K_3 P_1 = 90 \div 100 \text{ т}$, где K_3 – коэффициент, учитывающий эффект Баушингера. Кроме того, при последующем разгибании полок происходит самопроизвольное оформление элемента жесткости под действием реактивного момента

$$M_P = P_1 \cdot a, \quad (3)$$

где a – длина плоского элемента листа.

Таким образом, усилие формоизменения при замене формовки гибкой уменьшается в 4 раза. Более точное решение задачи с использованием уравнения равновесия, условия пластичности и совместности пластических деформаций, дает такое же соотношение по уменьшению деформирующего усилия. Схема процесса свободной самопроизвольной гибки изображена на рис. 1.

Известны огромные преимущества методов локального деформирования заготовок, в частности, сферодвижной штамповки, торцевой раскатки, профилирования и др. В этих процессах усилие деформирования снижается в 8 – 12 раз. Дальнейшим развитием метода локальной деформации может стать способ гибки вдавливанием жесткого инструмента в плоскую заготовку, находящуюся на жестком основании. При вдавливании пуансона происходит самопроизвольный изгиб заготовки. Проведя последовательные надавливания пуансоном на заготовку, можно получить деталь заданной формы. Разработан специальный пуансон, совершающий поступательное и вращательное движение для получения детали типа «желоб» (рис. 2).

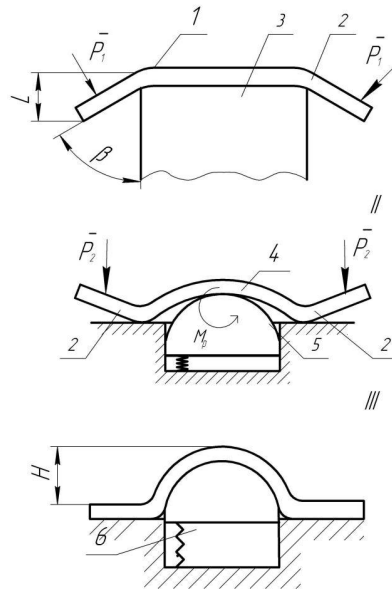


Рис. 1. Схема самопроизвольного формоизменения рифта: P_1 , P_2 – деформирующие усилия; M_1 – реактивный момент; 1 – 4. Заготовка и ее элементы; 5 – 6. Подпружиненный пуансон; I – III. Последовательность операций

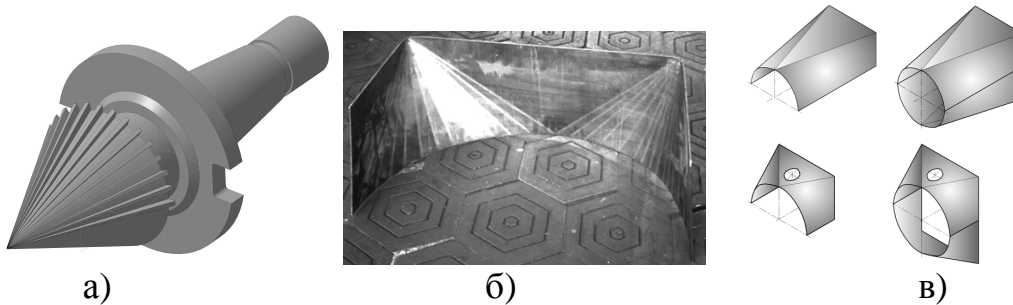


Рис. 2. Пуансон (а) и детали (б, в), полученные вдавливанием жесткого инструмента в заготовку

Выводы. В работе выявлены и систематизированы основные методы формообразования, направленные на снижение энергоемкости процесса и снижения деформирующих усилий. Наиболее эффективно это достигается при штамповке кристаллизирующейся жидкостью при замене операций формовки гибкой с самопроизвольным формоизменением и гибкой вдавливанием жесткого инструмента.

Список литературы: 1. *Кривцов В.С.* Стан і перспективи застосування імпульсних джерел енергії для технологічних процесів обробки матеріалів [Текст] / *Кривцов В.С., Борисевич В.К.* // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2007. - №11 (47) – с. 10–17. 2. *Борисевич В.К.* Багатофакторність фізичних явищ при вибуховій металообробці [Текст] / *Борисевич В.К., Драгобецький В.В., Троцько О.В.* // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2007. - №11 (47) – с. 62–72. 3. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. [Текст] / *Романовский В.П.* – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

УДК 621.961.001

СЫЧУК Ю.Т., зав. лабораторией каф. ДМ и ПТМ, ЗНТУ, Запорожье
ЧИГИРИНСКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., зав. каф. ОМД, ЗНТУ, Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИ ПРОБИВКЕ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ РИФЛЕННЫМИ ПУАНСОНАМИ

Установлена неоднородность деформированного состояния пробиваемой заготовки вдоль периметра рифленой рабочей поверхности пуансона. Определено влияние рифленой рабочей поверхности пуансона на размеры зоны пластической деформации, величину перемещения металла заготовки по торцу рифленого пуансона, образование трещин скола при пробивке.

Встановлена неоднорідність деформованого стану заготовки, яка пробивається, вздовж периметру рифленої робочої поверхні пуансону. Визначено вплив рифленої робочої поверхні пуансону на розміри зони пластичної деформації, величину переміщення метала заготовки по торцю рифленого пуансона, утворення тріщин сколу при пробивці.

Discovered heterogeneity strain state of punched blanks along the perimeter of the working surface of the corrugated punch. Defined the effect of grooved working surface of the punch for the size of the zone of plastic deformation, the displacement of the metal piece on the end face corrugated punch, shear cracks in the punching.

Качественные характеристики деталей, изготавливаемых из толстолистовых горячекатаных малоуглеродистых сталей в значительной мере определяются износостойкостью рабочего инструмента разделительных штампов, в частности пробивных пуансонов. Повышенная износостойкость пробивных пуансонов обеспечивается при минимальной нагрузке на их режущие кромки путем уменьшения размеров зоны пластической деформации [1,2,3]. Одним из способов уменьшения последней является применение для пробивки пуансонов с макрогеометрией рабочей части в виде совокупности продольных рифлений [4].