

**ДРАГОБЕЦКИЙ В.В.**, докт. техн. наук, проф., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

**МОРОЗ Н.Н.**, канд. техн. наук, доц., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

**ТРОЦКО О.В.**, ст. препод., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С РАЦИОНАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Рассмотрен ряд оптимизационных задач для процессов обработки металлов давлением. Уточнен метод расчета оптимальных деформационных параметров при формоизменении листовых равнопрочных деталей с учетом дополнительного интенсифицирующего воздействия. Выполнен расчет процесса формоизменения детали типа «воздухозаборник».

Ключевые слова: формоизменение, технологический процесс, оптимальный технологический параметр, интенсифицирующее воздействие.

Розглянуто ряд оптимізаційних задач для процесів обробки металів тиском. Уточнено метод розрахунку оптимальних деформаційних параметрів при формозміні листових рівноміцних деталей з урахуванням додаткового інтенсифікуючого впливу. Виконано розрахунок процесу формозміни деталі типу «повітрязбірник».

Ключові слова: формозміна, технологічний процес, оптимальний технологічний параметр, інтенсифікуючий вплив.

A number optimization tasks for processes of metals processing by pressure is considered. The method of account optimum deformation parameters is specified at change of the form sheet equally strong of details in view of additional intensive influence. The account of process change of the form of a detail such as "Fence of air" is executed.

Key words: Change of the form, technological process, optimum technological parameter, intensive influence.

### **1. Введение**

В ряде работ [1-4] утверждается, что наиболее эффективные технологические процессы выбирают в результате их многокритериальной оценки. Объективно существующее множество частных критериев, необходимых для оценки эффективности технологических процессов, показывают сложность решения задачи по выбору наиболее эффективного процесса из множества альтернатив. При установлении наиболее эффективного технологического процесса формоизменения возникает новая проблема, связанная с выбором оптимальных технологических параметров. В этом и другом случае используют различные приемы и способы, которые позволяют, обосновано сократить число критериев необходимых для оценки эффективности технологических процессов и их оптимального управления параметрами технологии. Перевод многокритериальной задачи к однокритериальной позволяет сократить в процессе решения задачи число альтернатив. Методики сокращения числа альтернативных технологий основаны на переводе части частных критериев в критерии ограничения [1, 3], исключая малозначные критерии (весовая значимость критериев) и частных критериев, входящих в состав обобщенных критериев. Применимость экспертных методов для выбора частных критериев мало доказательна и субъективна.

Глобальный критерий – технико-экономическая эффективность технологических процессов далеко не объективен и зависит от состояния экономики и сложившейся социально-экономической ситуации в стране.

## **2. Постановка проблемы**

Эффективность технологии, как правило, выражается критерием эффективности. На наш взгляд наиболее универсальным является критерий «соотношение потерь» [2]. Если в этом критерии рассматривать не экономические соотношения, которые крайне не стабильны, а энергетические, то получим наиболее универсальный критерий. Для этого необходимо определить ту долю энергетических затрат, которая переходит в бесполезное тепло. Менее энтропийные процессы являются наиболее эффективными. В настоящее время в качестве критериев при оценке эффективности технологий все применяемые критерии можно свести к следующим: целевые, экономические, весовые и временные. При сравнительном анализе и оптимизации технологий критерии следует выбирать, исходя из целевой задачи сравнительного анализа или оптимизации применения составных критериев, представляющих собой отношение двух критериальных величин или сумму нескольких критериальных величин с коэффициентом их значимости. Введение этих коэффициентов базируется на субъективной оценке и интуиции. Однако существуют подходы к решению задач формоизменения в условиях предельной пластичности, которая является функцией некоторого числа геометрических величин [3]. Для определения значимости факторов производится последовательная фиксация значений нескольких из них. Определяем их значимость при поочередном отбрасывании незначительных. Значимость факторов определяется по значению минимизации полной мощности формоизменения. При таком подходе субъективность выбора коэффициентов значимости исключается.

Среди перечисленных ранее критериев, вероятно, наиболее предпочтительным является использование весовых критериев. Последние являются косвенными критериями и критериями экономичности, а для деталей используемых для изготовления транспортных средств – целевыми.

Развитие процессов обработки металлов давлением в основном идет либо по пути создания высокоэффективных технологий на основе оптимизации режимов традиционных процессов обработки металлов давлением. Другой путь – поиск и разработка новых технологических процессов от известных по способу приложения к заготовке внешнего воздействия. Анализ тенденций в области разработки новых технологических процессов свидетельствует о том, что в ближайшем будущем не следует рассчитывать на новые технические решения, которые обеспечат революционный прорыв в какой-либо области обработки металлов давлением. Базой для создания новых процессов является совмещение отдельных, считающихся самостоятельными, операций листовой штамповки и создание комбинированных методов обработки.

## **3. Анализ исследований и публикаций**

Решен ряд оптимизационных задач для ряда процессов обработки металлов давлением. Методами вариационного исчисления решены задачи выбора оптимального профиля деформирующего инструмента при прессовании и поверхности перетяжного ребра матрицы при вытяжке. Используются условия минимума поверхностной нагрузки на участках контакта с заготовкой и минимума площади поверхности контакта [4].

И.Н. Лебединским разработана методика расчета параметров и оптимизации технологии прошивки гильз в коническом контейнере. Оптимизируемые параметры должны обеспечить наибольшее значение коэффициента выхода пригодной продукции и минимальную трудоемкость последующей протяжки. В.И. Ершовым и др. проведено экспериментальное определение оптимальных параметров процесса гибки уголкового профиля. В этом исследовании выявлена оптимальная зона раскатки – корневая часть профиля. При раскатке последней значения относительного пружинения и закрутки минимальны.

Большое количество работ посвящено оптимизации параметров разделительных операций листовой штамповки. Решены задачи выбора рациональной геометрии поверхности контакта рабочих частей разделительных штампов, оптимальных длин ступенчатых пуансонов, оптимальных параметров матриц, оптимальных зазоров для пробивки-вырубки, выбора материала для вырубных штампов с упрочняющими покрытиями.

Потекушиным Н.В. обосновано применение оптимальных технологических схем профилирования ободьев колес с радиальным и радиально-торцевым подпором.

В. Вронски и др. разработали программу выбора наиболее подходящих к данным конкретным условиям параметров процесса вытяжки на основе полученных аналитических зависимостей для усилия вытяжки.

В.И. Стеблюком и его учениками решен комплекс задач по выбору оптимальной геометрии заготовки при вытяжке с утонением, формообразованию коробчатых деталей, оптимальной дифференциации и локализации термомеханического воздействия по объему заготовки и др.

В работах ученых ХАИ школы Борисевича В.К. решен комплекс задач по оптимизации параметров внешне силового нагружения и деформирования тонколистовых заготовок при импульсных методах формоизменения. Поставлена и решена многопараметрическая задача оптимального формообразования [4].

В этих исследованиях использованы методы линейного и нелинейного программирования, вариационного исчисления, градиентные методы с минимизацией функционала, перебора вариантов, эмпирические приемы и т.д. Т. е. в некоторых случаях решение оптимизационной задачи производится без минимизации функционала, критерия оптимизации и целевой функции.

#### **4. Цель работы**

Целью данного исследования является доработка и совершенствование многопараметрической задачи оптимального управления процессом формоизменения листовых заготовок.

#### **5. Материалы и результаты исследований**

Таким образом, весовой критерий является одним из наиболее эффективных критериев изготовления деталей, в том числе и листовых. Деталь получается минимального веса в том случае, если ее разностенность минимальна [4]. Однако для того, чтобы деталь имела, и минимальный вес и соответствовала требованиям эксплуатации (целевой критерий) необходимо, чтобы она была равнопрочной. Равнопрочная листовая деталь, как правило, имеет переменную толщину стенки. Следовательно, если деталь не является силовым элементом (крышки, облицовки, колпачки и т.д.), то в качестве весового критерия принимаем разность детали. Также, если деталь из условий равнопрочности должна иметь постоянную толщину стенки (детали баков,

емкостей, цистерн и т.д.), то в этом случае в качестве критерия оптимизации используем разностенность детали. Для силовых деталей (ободья колес, шпангоуты, нервюры, перегородки и т.д.) выполняют прочностные расчеты и определяют геометрические характеристики поперечных и продольных сечений, которые зависят от толщины заготовки в каждом сечении. Для таких деталей необходимо минимизировать функционал  $\Phi$ , характеризующий отличие между получаемым после формообразования (технологическим) и требуемым (конструктивным) геометрическим (толщина стенки) параметром в заданных точках детали. В качестве функционала  $\Phi$  наиболее целесообразно выбрать квадратичный функционал вида:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{j=k} [S_{Nj}(x_i) - S_{Pj}(x_i)]^2 \quad (1)$$

где  $S_{Nj}$  – требуемый по прочностным показателям геометрический параметр детали;

$S_{Pj}$  – реализуемое или геометрическое значение параметра после формообразования;

$x_i$  - координаты точек заготовки.

Решение задачи сводится к минимизации функционала (1) на семействе функций управления по методике изложенной в работе [4]. Особую значимость при определении распределения утонений, соответствующих равнопрочности детали, когда оптимизация технологических параметров не приводит к необходимому значению распределения утонений приобретает дополнительных ресурсов (функций управления). В качестве функций управления  $F_{j,i,k,m,g,p,t...}$  можно использовать: дополнительное силовое воздействие, локальное термическое воздействие (дифференциальный нагрев), вибровоздействие, управление силами контактного трения и т.д. Это в свою очередь вносит коррективы в расчетную модель упруго-пластического поведения деформируемой заготовки [5].

В частности, приращения деформаций представляются в виде упругих, пластических и возникающих при дополнительном воздействии компонент:

$$\Delta \tilde{\varepsilon}_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l} = (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^e + (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^p - \sum_{t=1}^t (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^t \quad (2)$$

Здесь:

$$(\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^e = (\Delta \sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}) / (2\sigma), \quad (3)$$

$$(\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^p = \Delta \lambda_{i,\eta,\tau} \sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}$  – компоненты девиатора деформаций;

$\sigma$  – модуль сдвига;

$\sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}$  – компоненты дививатора напряжений;

$\Delta \lambda_{i,\eta,\tau}$  – мера пластической деформации;

$\sum_{t=1}^t (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^t$  – сумма компонентов деформации от интенсифицирующих

воздействий;

$k, l$  – индексы;

$i$  – номер узла заготовки;

$\eta$  – номер слоя;

$\tau$  – момент времени процесса деформирования;

$t$  – интенсифицирующее воздействие, при  $t = 1$  – соответствует термическому воздействию.

При термическом воздействии компонента деформации от интенсифицирующих воздействий имеет вид:

$$\left(\Delta\varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}\right)^t = Q_T T_{i,\eta,\tau} \delta^{k,l}, \quad (5)$$

где  $Q_T$  – коэффициент линейного расширения;

$T_{i,\eta,\tau}$  – температура;

$$\delta^{k,l} = \begin{cases} 1, & \text{при } k = l; \\ 0, & \text{при } k \neq l. \end{cases}$$

По данной методике выполнен расчет процесса формоизменения детали типа «воздухозаборник» (рис. 1).



Рис. 1. Деталь типа «воздухозаборник»

Управление параметрами трения позволило получить утонение в куполе воздухозаборника, которое не превышало 3-5%. На кромке детали утонение не превышало 18-20%. Это соответствует оптимальному распределению утонений для конструкции носовых частей корпусов летательных аппаратов [5].

## 6. Выводы

Таким образом, уточнен метод расчета оптимальных деформационных параметров при формоизменении листовых равнопрочных деталей с учетом дополнительного интенсифицирующего воздействия. Решение таких задач приводит к необходимости оптимизации параметров интенсифицирующих воздействий. Если в настоящее время решены задачи управления дифференцированным нагревом, напряжениями контактного трения, выбора профиля заготовки и т.д., то в дальнейшем требуется решение задач определения оптимальных давлений при подпоре торца заготовки, при дополнительном локальном нагружении, при вибровоздействии и т.д.

**Список литературы:** 1. Тарасов Е.В. Алгоритм оптимального проектирования летательного аппарата / Е.В. Тарасов. – М.: Машиностроение, 1970. – 304 с. 2. Морз Ф.М. Методы исследования операций / Ф.М. Морз, Д.Е. Кимбелл. – М.: Советское радио, 1956. – 352 с. 3. Ершов В.И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В.И. Ершов, В.И. Глазков, М.Ф. Коширин. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с. 4. Борисевич В.К. Выбор оптимальных параметров вытяжки листовых заготовок / В.К. Борисевич, М.В. Загирняк, В.В. Драгобецкий; Кузнечно-штамповочное производство. – № 2, 2009. – с. 38-41. 5. Дракин И.И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности / И.И. Дракин. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.