

УДК 621.983.3.001.1

А.А. Черныш,

Н.Н. Мороз, доцент, канд. техн. наук,

В.В. Драгобецкий, профессор, д-р техн. наук

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, Украина, 39600

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА ПРОЦЕССОВ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ АВТОКУЗОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Усовершенствована математическая модель процесса вытяжки деталей сложной формы. Разработанная модель учитывает всю совокупность действующих факторов, необходимых для проектирования такого варианта технологии, который максимально удовлетворяет требованиям к качеству штампуемого изделия и обеспечивает минимальный расход материалов. Изложен новый подход к моделированию процесса глубокой вытяжки, который учитывает анизотропное упрочнение.

Ключевые слова: *вытяжка, фланец, листовая заготовка, пластическая анизотропия, деформация, напряжение.*

Постановка проблемы. Одним из основных методов изготовления деталей в автомобильной промышленности является холодная листовая штамповка. Наиболее эффективное решение задач листоштамповочного производства применительно к развитию научно-технического потенциала и конкурентоспособной продукции связано с совершенствованием методов прогнозирования геометрии и качества облицовочных деталей автомобилей после формообразования.

Исследования направлены на совершенствование и развитие методов расчёта процесса формоизменения тонколистовых автокузовных деталей при сложной вытяжке и повышение эффективности листоштамповочного производства деталей грузовых автомобилей.

В условиях вытяжки деталей сложной пространственной конфигурации с элементами рельефа имеет комплекс особенностей связанных с пластическим деформированием элементов заготовки, часть из которых пластически деформируются в условиях пропорционального деформирования, другие – непропорционального, а также в условиях плоского и объёмного, напряженного и деформированных состояний. Это необходимо учитывать при установлении зависимости между напряжениями и деформациями, установлении предельных напряжений и деформаций и зависимости предельного сопротивления материала деформированной заготовки от вида напряженного состояния. При сложной вытяжке фланцевая часть заготовки, а у коробчатых деталей небольшой глубины стенки заготовки, подвержены многократному изгибу. При этом у элементов заготовки кривизна многократно увеличивается от нулевой до необходимой, с последующим уменьшением до нулевой, с изменением знака скорости деформируемой частицы элемента заготовки.

Анализ последних исследований и публикаций. Плоское деформированное состояние металла заготовки наблюдается на участках заготовки, контактирующих с поверхностью пуансона без проскальзывания, а также на прямолинейных или искривлённых участках контура проёма матрицы для сложной вытяжки [1-3]. Протяжённость этих участков должна быть достаточно велика по сравнению с протяжённостью примыкающих к ним угловых и переходных участков с большой кривизной закруглений участков контура [1]. Значительная часть автокузовных деталей содержат элементы жёсткости, выштамповки, пуклёвки и т.д. различной конфигурации. При сложной вытяжке формоизменение элементов рельефа может происходить как при зажатом контуре, так и при подаче материала заготовки в очаг деформации. В первом случае пластическое течение листового металла происходит растяжением по жёстким криволинейным поверхностям пуансона и матрицы.

В целом напряженное состояние при вытяжке сложных деталей характеризуется существенной неоднородностью как по длине срединной поверхности заготовки в продольном и поперечном сечениях, так и по ее толщине. Для оценки и прогнозирования качества детали по основным показателям (точность геометрических параметров; состояние поверхности детали; отсутствие локальных дефектов, связанных с локальной потерей устойчивости и нарушением сплошности) на стадии проектирования технологического процесса необходимо иметь достоверную информацию о состоянии заготовки в любой момент процесса формоизменения. То есть необходимы данные о текущих геометрических параметрах деформируемой заготовки, ресурсе пластичности металла в каждой точке заготовки, значение контактных напряжений в зонах соприкосновения заготовки с матрицей и пуансоном. Получить такую информацию в необходимом объеме возможно путем математического моделирования технологического процесса [4].

Для анализа формоизменения заготовки использована механико-математическая модель, в которой исходные уравнения краевой упруго-пластической задачи деформирования решают методом конечных разностей.

Принятая система уравнений теории пластического потенциала отражает упругопластическое поведение деформируемой заготовки и степень упрочнения материала заготовки. Основные допущения: предполагается выполненной первая часть гипотезы Кирхгофа-Лява; в пластической области возвращение вектора напряжений осуществляется по нормали к поверхности текучести; деформирующий инструмент и матрица считаются абсолютно жесткими телами; трение на участках контактного скольжения описывается обобщенным законом трения (граничное + жидкостное). Вычисление деформаций заготовки проводится на базе многослойной модели. Заготовка состоит из четырех слоев равной толщины, в которой сконцентрирован ее материал и которые работают в условиях плоского напряженного состояния. Эти слои расположены на равном расстоянии друг от друга и разделены материалом, который обладает абсолютной жесткостью на сдвиг в поперечном направлении. Нестационарность процесса учитывается организацией пошаговой процедуры последовательных нагружений. Условием окончания моделирования, кроме нормального завершения операции, может быть исчерпание ресурса пластичности в каких-либо точках заготовки, контролируемое автоматически, или утонение заготовки, превышающее пятую часть (20 %) исходной ее толщины [4].

Однако, разработанная модель процесса штамповки не учитывает всю совокупность действующих факторов, необходимых для проектирования такого варианта технологии, который максимально удовлетворяет требованиям к качеству штампуемого изделия.

Цель статьи. При разработке и отладке технологических процессов сложной вытяжки облицовочных деталей автомобилей возникают значительные трудности, связанные с получением заданных размерных и прочностных характеристик формообразуемых деталей. Это связано с тем, что напряженно деформируемое состояние заготовки зависит от условий деформирования и пластических свойств материала и может изменяться в процессе деформирования. Поэтому целью данного исследования является развитие и уточнение метода расчета процесса сложной вытяжки с отысканием поля конечных деформаций при учете анизотропного упрочнения материала заготовки (эффект Баушингера), смены схемы ее напряженного и деформированного состояний и непропорционального деформирования. Решение представленной задачи даст технологам научно-обоснованные данные по проектированию новых технологий и штампового оснащения и корректировке существующих.

Материалы и результаты исследований. Методы расчёта параметров процесса сложной вытяжки требуют дополнительной доработки и уточнения в связи с корректированием модели контактного взаимодействия фланцевой части заготовки с поверхностью прижима и на радиусах скругления пуансона и матрицы. Теоретическое моделирование процесса течения листового металла в лабиринта порога, рабочей кромки матрицы вытяжного штампа и тормозных порогов требует учёта упрочнения и разупрочнения металла от эффекта Баушингера.

Наличие последнего связано с проявлением деформационной анизотропии, согласно которой предварительное пластическое деформирование уменьшает сопротивление материала при следующем за разгрузкой повторном пластическом деформировании в обратном направлении. При повторном деформировании происходит уменьшение условного предела текучести. В этом случае деформирование происходит в условиях непропорционального деформирования для которого необходимо установить феноменологические уравнения связи напряжений и деформаций. При относительно небольшой кривизне пути деформирования и достаточно плавных переломах пути, допустимо предположить, что упрочнение материала зависит только от длины предшествующего пути

$$L = \int_0^{\lambda} e_{ij}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где λ – общий параметр;

e_{ij} – составляющие девиатора деформаций

$$e_{ij}(\lambda) = de_{ij} / d\lambda. \quad (2)$$

Тогда закон единой кривой деформирования распространяется на непропорциональное деформирование, а в качестве уравнений связи напряжений и деформаций можно использовать уравнения теории течения Сен-Венана-Леви-Мизеса.

Для оценки параметров предельной формовки, которые ограничены локализацией деформаций можно воспользоваться экспериментальными данными приведенными в работе В.Я. Осадчего [2]. Авторами выполнены теоретические и экспериментальные исследования вопросов предельного формоизменения автолиствого материала при листовой формовке, осуществляемый с помощью пуансона с плоским дном. Однако в данном исследовании заготовка была зажата по контуру, а при оформлении рельефа автокузовных деталей заготовка перед оформлением местных углублений получает значительные деформации перед окончательным оформлением углубления.

При сложной вытяжке автокузовных деталей путь деформирования фланцевой части заготовки при наличии перетяжных ребер и тормозных порогов имеет, как правило, большую кривизну и резкие переломы. В этом случае возникает необходимость в привлечении усложненной модели Г.Бакхауза, учитывающей эффект Баушингера [3]. Однако, при численном моделировании процесса сложной вытяжки и при введении обобщенной интенсивности деформаций, закон единой кривой допустимо распространить на непропорциональное деформирование. Эффект Баушингера при моделировании процесса пластического деформирования заготовки в условиях конечно-разностной аппроксимации уравнений механики сплошных сред и критерия текучести учитываем при определении компонент моментов, входящих в уравнение равновесия для моментов и дополняющих уравнений движения (равновесия) заготовки [4]. Проекция моментов определяются по компонентам напряжений найденным по приращениям деформаций в каждом узле и слое исследуемой заготовки.

$$M_{xi} = - \int_{-0.5h}^{0.5h} \sigma_{xij} \cdot x_k dx_k, \quad (3)$$

где h – толщина заготовки;

$i, d, k = 1 \dots 3$.

Однако, учитывая разницу пределов текучести при сжатии и растяжении и законов упрочнения интеграл (3) разбивается на два

$$M_{xi} = \int_{-0.5h-\Delta}^0 \sigma_{xij}^{сж} \cdot x_k dx_k - \int_0^{0.5h+\Delta} \sigma_{xij}^p \cdot x_k dx_k, \quad (4)$$

где Δ – координата нейтрального слоя;

$\sigma_{xij}^{сж}, \sigma_{xij}^p$ – напряжения, рассчитанные для сжатых и растянутых слоев заготовки по соответствующим приращениям деформаций и кривым упрочнения.

Кроме того до сих пор остро стоит вопрос о расчете размеров заготовки для деталей, получаемых методом сложной вытяжки. Построение разверток, применение метода линий скольжения и метода граничных элементов не позволяет достаточно точно прогнозировать ее геометрию и геометрию элементов штампа. Это приводит к довольно значительным производственным затратам на доводку размеров заготовки и конструкции штампа.

Предлагается в рамках дополненной конечно-разностной модели произвести расчет геометрии заготовки методом обращения. Для этого, располагая формой отштампованной детали и диаграммой пресса усилие-перемещение, производим нагружение заготовки в обратном порядке. Т.е. из её конечного состояния в начальное с использованием кривой упрочнения с началом координат, соответствующим предельным деформациям.

Применение данного метода, позволило откорректировать форму и размеры заготовок для ряда кузовных деталей автомобилей семейства КрАЗ, представленных на рисунках 1,2.

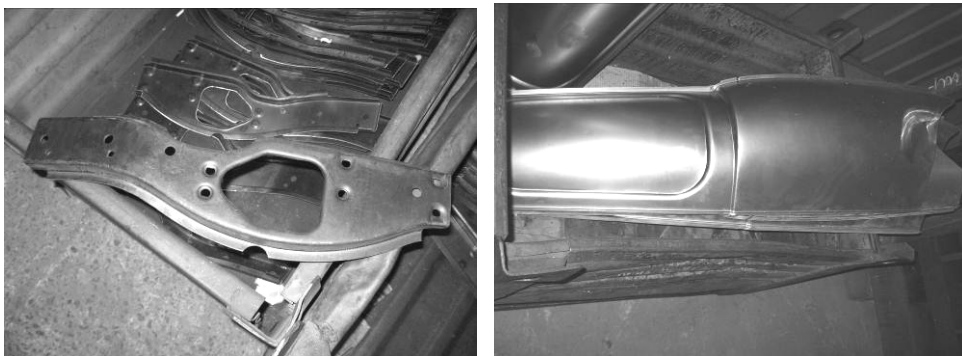


Рисунок 1 – Кузовные детали кабины автомобилей семейства КрАЗ



Рисунок 2 – Кузовные детали капота автомобилей семейства КрАЗ

Выводы. Уточнение метода расчета пластического деформирования заготовки при сложной вытяжке, ее напряженно-деформированного состояния в процессе и на заключительной стадии деформирования позволили прогнозировать возникновение предельных деформаций, геометрию заготовки и штампа с обработкой технологии формоизменения численно на ПЭВМ с уменьшением сроков отладки техпроцесса и производственных затрат. Применение метода обращения позволило снизить потери металла на доводку геометрии заготовки на 7-15% на один комплект автокузовных деталей.

Библиографический список использованной литературы

1. Матвеев А.Д. Работа перетяжного порога вытяжных штампов/ А.Д. Матвеев, В.В. Казанников, И.Ю. Ананченко, В.А. Халдинов, В.А. Гуров // Кузнечно-штамповое производство. – 1989. – №8. – С. 16–19.
2. Осадчий В.Я. Технологические параметры предельной формовки листового металла / В.Я. Осадчий, Т.А. Боброва, Е.Ф. Афанасьев// Кузнечно-штамповое производство. – 1991. – №12. – С. 16–17.
3. Бакхауз Г. Анизотропное упрочнение. Теория в сопоставлении с экспериментом. Механика твердого тела / Г. Бакхауз. – 1976. – № 6. – С. 120–129.
4. Борисевич В.К. Выбор оптимальных параметров вытяжки листовых заготовок/ В.К. Борисевич, М.В. Загирняк, В.В. Драгобецкий// Научно-технический и производственный журнал КШПОМД. – Москва, 2009. – № 2. – С. 38–41.

Поступила в редакцию 13.06.2013 г.

Черниш А.А., Мороз М.М., Драгобецкий В.В. Удосконалення методу розрахунку процесів формозміни листових автокузовних деталей

Удосконалена математична модель процесу витяжки деталей складної форми. Розроблена модель враховує всю сукупність діючих факторів, необхідних для проектування такого варіанта технології, який максимально задовольняє вимогам до якості виробу, який штампується й забезпечує мінімальні витрати матеріалів. Викладений новий підхід до моделювання процесу глибокої витяжки, який враховує анізотропне зміцнення.

Ключові слова: витяжка, фланець, листова заготовка, пластична анізотропія, деформація, напруга.

Chernish A., Moroz N., Dragobetskiy V. Perfection of calculation method of forming processes of sheet autobody parts

The mathematical model of the drawing process of items with complex configuration is developed. The developed model of the process of forming not considers the set of the working factors necessary for designing such, which would meet the requirements to the quality of a formable product and provide the minimal weight of the received item.

The new approach to modeling process deep drawing is stated which takes into account anisotropy hardening

Keywords: drawing, flange, sheet preparation, plastic anisotropy, deformation, stress.