

*Д.В.ЛАВИНСКИЙ*, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАЦИИ «ЗАПОЛНЕНИЯ УГЛОВ». ЧАСТЬ 1.**

Представлено результати аналізу пружно-пластичного деформування тонкої гнutoї сталевої заготовки з ціллю «заповнення кута». Розглянуто різні варіанти закріплення заготовки. Задача розв'язувалась чисельно в рамках плоскої деформації за допомогою методу скінченних елементів. Поведінка матеріалу заготовки моделювалась в рамках теорії малих пружно-пластичних деформацій. Зроблені рекомендації про подальше удосконалення умов технологічної операції.

Results of the analysis of elastic-plastic deformation thin bended steel slug with the purpose «infill a corner» are presented. Various variants of fastening of preparation are examined. The task was solved numerically within the limits of flat deformation by means of a method of finite elements. The behavior of a material of preparation was modeled within the limits of the theory of small elastic-plastic deformations. Recommendations for the further improvement of conditions of technological operation are made.

**Актуальность проблемы.** В настоящее время процессы обработки заготовок и изготовления готовых изделий, основанные на способности материалов пластически деформироваться находят все более широкое применение в промышленности. К достоинствам данных методов можно отнести практически безотходность, экологичность и возможность получать изделия практически конечной формы и размеров. Отдельный класс технологических операций направлен на получение изделий из тонких листовых заготовок путем сгибания. Практика показывает, что в результате сгибания в зонах углов появляются скругления, размеры которых является недопустимыми с точки зрения технологии. Задача исправления подобных скруглений в практике обработки материалов известна как задача «заполнения углов» [1]. Ключевым моментом при создании технологической операции является разработка схемы приложения давления непосредственно в угловой зоне. В работе [2] обсуждался вопрос использования магнитно-импульсного воздействия на заготовку с целью «заполнения угла». Было показано, что возможно получить силу магнитного давления, равнодействующая которой направлена по биссектрисе угла, причем воздействие происходит только в угловой зоне. Теперь рассмотрим процесс деформирования в данном случае с целью выработки общих рекомендаций для создания подобных технологических операций.

**Постановка задачи.** Необходимо исправить скругление радиуса  $R$ , возникшее в результате изгиба на угол  $\pi/2$  тонкой листовой заготовки, до допустимого радиуса  $r$ , при этом следует определить оптимальные условия закрепления заготовки. Будем считать, что заготовка является достаточно протяженной вдоль ребра угла по сравнению со сторонами угла. Тогда, предпо-

лагая, что равнодействующая прикладываемого давления перпендикулярна к ребру угла, первоначально задача может быть рассмотрена в рамках задачи плоской деформации [3]. На рис. 1 представлена расчетная схема, штриховыми линиями показана требуемая конфигурация угла. Давление прикладывается только в зоне скругления с внутренней стороны угла.

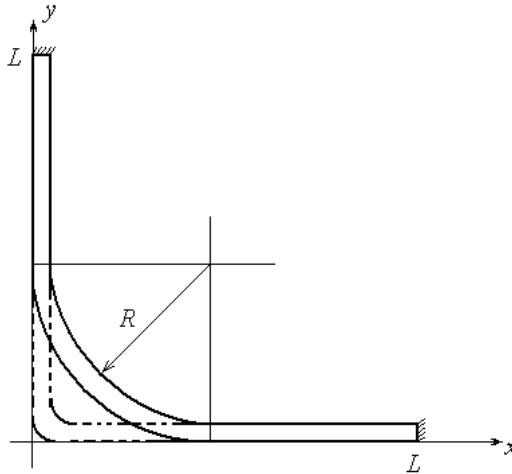


Рисунок 1 – Расчетная схема

Рассмотрим различные способы закрепления заготовки:

- закрепление торцов сторон угла

$$\begin{cases} u_x(L, y) = 0; \\ u_y(L, y) = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} u_x(x, L) = 0; \\ u_y(x, L) = 0. \end{cases}$$

- закрепление сторон угла полностью, в этом случае можно рассмотреть деформирование только скругленной части закрепленной на торцах

$$\begin{cases} u_x(R, y) = 0; \\ u_y(R, y) = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} u_x(x, R) = 0; \\ u_y(x, R) = 0. \end{cases}$$

Задача решалась численно с использованием схемы метода конечных элементов, реализованной в виде отдельного модуля для программного комплекса SPACE-T [4]. Использовался плоский четырех узловой конечный элемент с билинейной аппроксимацией перемещений. Поведение материала заготовки моделировалось в рамках теории малых упруго-пластических деформаций, при этом константы материала были преобразованы в соответствии с зависимостями характерными для плоской деформации [3].

**Анализ полученных результатов и выводы.** Задача была решена для

следующих размеров заготовки: радиус первоначального скругления 3мм, толщина заготовки 1 мм, длина стороны угла 10 мм, допускаемый радиус скругления 1 мм, материал сталь Ст 10.

Следует отметить, что ни первая ни вторая схема закрепления не удовлетворяют цели технологической операции. На рис.2 приведено наложение деформированного состояния заготовки на первоначальную форму при первом варианте закрепления.

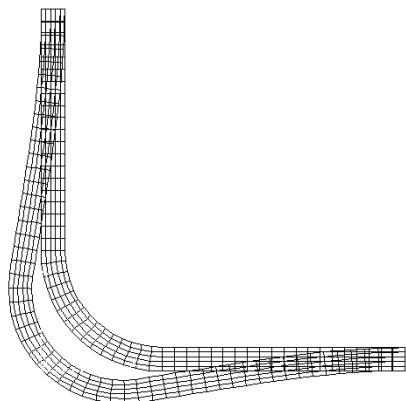


Рисунок 2 – Деформированное состояние при первом варианте закрепления

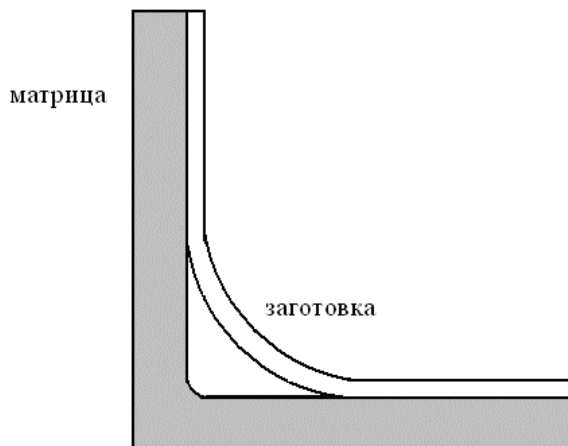


Рисунок 3 – Предлагаемая схема

Видно, что стороны угла потеряли прямолинейную форму. Радиус скругления не уменьшился. Зоны максимальной интенсивности напряжений наблюдаются не только непосредственно в области скругления, но и в области закрепления, что может привести к возникновению пластических дефор-

маций в областях, удаленных от скругления, что является недопустимым. Подобные же результаты наблюдаются и при втором варианте закрепления.

Таким образом, главный вывод заключается в следующем: подобная технологическая операция невозможна без использования матрицы, которая бы предавала заготовке требуемую форму и размеры. Один из вариантов подобной матрицы представлен на рис.3. Но, очевидно, в данном случае задачу необходимо решать для заготовки и матрицы в рамках единой схемы, с учетом контактного взаимодействия между заготовкой и матрицей. По результатам решения этой задачи должны быть сформулированы рекомендации о допустимых размерах матрицы, о способах закрепления заготовки, а также определены величины давлений обеспечивающих переход материала заготовки в пластическое состояние.

**Список литературы:** 1. *Батыгин Ю.В., Лавинский В.И.* Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 283 с. 2. *Бондарь С.В., Лавинской Д.В.* Определение магнитного давления в углах при деформировании листовых заготовок // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ», 2009. – № 42. – С. 11-14. 3. *Самуль В.И.* Основы теории упругости и пластичности: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 264 с. 4. *Бондарь С.В., Зубатый С.С., Киркач Б.Н., Лавинский В.И.* Программный комплекс SPACE-T для решения термоупругопластических контактных задач // Динамика и прочность машин. - Харків: НТУ «ХПИ». – 2000. – № 57. – С. 24-34.

*Поступила в редколлегию 13.05.2010*