

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ШТАМПОВКА ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

С.В. Бондарь, к.т.н., ст. научн. сотр., Д.В. Лавинский, доцент, к.т.н., НТУ «ХПИ»

***Аннотация.** Рассмотрена операция «раздача» для тонкостенного цилиндра. Исследовано напряженное состояние системы «заготовка – матрица». Сформулированы рекомендации для технологической оснастки.*

***Ключевые слова:** магнитно-импульсная штамповка, напряжения, деформации, пластичность.*

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНЕ ШТАМПУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК

С.В. Бондарь, к.т.н., ст. наук. співр., Д.В. Лавінський, доцент, к.т.н., НТУ «ХПІ»

***Анотація.** Розглянуто операцію «роздача» для тонкостінного циліндра. Досліджено напружений стан системи «заготовка – матриця». Сформульовано рекомендації для технологічного оснащення.*

***Ключові слова:** магнітно-імпульсна штамповка, напруги, деформації, пластичність.*

PULSE-MAGNETIC STAMPING OF THIN-WALLED CYLINDRICAL DYES

S. Bondar, cand. eng. sc., senior research worker,
D. Lavinsky, associate professor, cand. eng. sc., NTU “KhPI”

***Abstract.** The design of pulse magnetic stamping technological operation is considered in the given article. The stress state of die – slug system is analyzed. Recommendations concerning the technological equipment condition are given.*

***Key words:** pulse-magnetic stamping, tension, deformation, plasticity.*

Введение

Развитие машиностроения на современном этапе невозможно без применения новых прогрессивных технологий. При этом материальные затраты необходимо компенсировать повышением экономичности изделий, и технологии должны быть экологически чистыми. Совершенствование современного обрабатывающего производства происходит преимущественно с использованием безотходных технологий. К таким технологиям относится магнитно-импульсная штамповка (МИШ) – одно из перспективных направлений обработки. Преимущества МИШ по

сравнению с традиционными методами обработки металлов давлением заключаются в отсутствии пуансона (бесконтактное воздействие на заготовку) и в возможности моделирования различных законов изменения давления в пространстве [1]. Данный факт свидетельствует о том, что МИШ с успехом может применяться в тех случаях, когда необходимо получать пластическое деформирование в зонах, размеры которых малы по сравнению с характерными размерами всей конструкции. К таким задачам может быть отнесена задача получения окружных гофров на тонкостенных цилиндрах. В терминологии традиционной магнитно-импульсной обра-

ботки металлов (МИОМ) такая технологическая операция классифицируется как операция «раздачи» [1]. Разработка любой операции МИШ состоит из двух частей: анализ электродинамических процессов (с целью получения требуемых распределений магнитных давлений) и дальнейший анализ деформирования системы «заготовка – матрица» (с целью выбора оптимальных уровней и распределений магнитных давлений, оптимальных условий закрепления заготовки, а также оптимальной формы матрицы).

Постановка задачи

Рассмотрим операцию магнитно-импульсной «раздачи» тонкостенного цилиндра с целью получения окружных гофров – рис. 1. В результате операции цилиндрическая поверхность в целом должна остаться недеформированной, а остаточные деформации должны наблюдаться лишь в областях непосредственного контакта заготовки с матрицей – системой тонких колец; положение гофров по отношению к длине заготовки жестко регламентируется местами первоначального положения матрицы. Для этого рассмотрим различные виды распределения магнитного давления вдоль образующей цилиндра – равномерное и локальное (рис. 1), а также различные способы закрепления заготовки – свободное опирание и жесткое закрепление торцов. Также необходимо оценить недостатки и преимущества различных форм меридианных сечений колец матрицы.

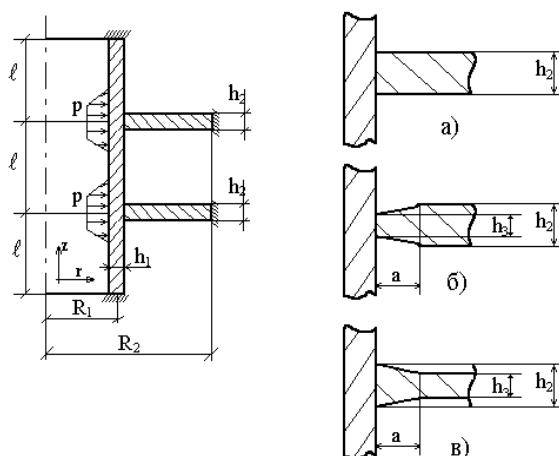


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Расчеты проводились для следующих параметров конструкции: $\ell = 0,3$ м; $R_1 = 0,5$ м; $R_2 = 0,7$ м; $h_1 = 0,01$ м; $h_2 = 0,02$ м; $h_3 = 0,5h_2$;

$a = h_1$. Цилиндр изготовлен из сплава АМГ, схематизированная диаграмма деформирования которого представлена на рис. 2, кольца изготовлены из стали ($E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0,27$).

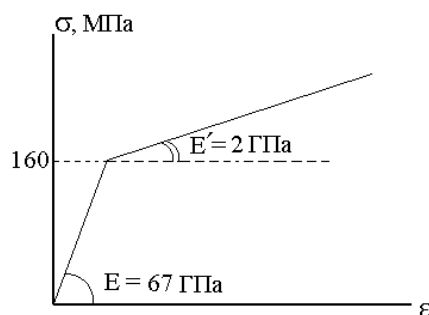


Рис. 2. Схема деформирования материала заготовки

Анализ магнитоупругопластического деформирования при «раздаче»

В работе [2] проведен детальный анализ электродинамических процессов подобной технологической операции и получено соотношение для пространственного распределения магнитного давления для одно- и двухвиткового индуктора.

Задача магнитоупругопластического деформирования решалась методом конечных элементов по схеме, реализованной в программном комплексе SPACE-T [3]. Рассмотрим и проанализируем основные результаты. На рис. 3 и рис. 4 приводится деформированная форма цилиндра с жестко закрепленными торцами (рис. 3) и свободно опертго при действии равномерного внутреннего давления.



Рис. 3. Деформированное состояние при жестком защемлении торцов цилиндра



Рис. 4. Деформированное состояние при свободном опирании торцов цилиндра

Из представленных рисунков видно, что имеют место значительные перемещения в зонах, удаленных от мест взаимодействия цилиндра с матрицей, что может привести к появлению нежелательных пластических деформаций. Оценка зон появления пластических деформаций может быть проведена после рассмотрения напряженного состояния цилиндра. Для пластических материалов критерием начала пластичности является достижение интенсивностью напряжений предела текучести. На рис. 5 и рис. 6 представлено распределение интенсивности напряжений вдоль образующей цилиндра.

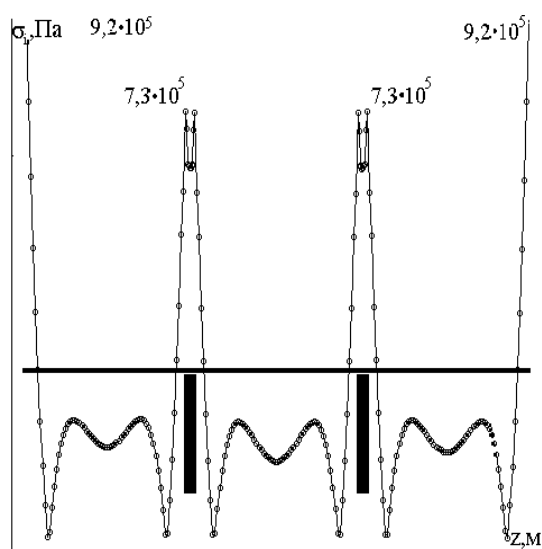


Рис. 5. Распределение интенсивности напряжений вдоль образующей цилиндра при жестком опирании торцов

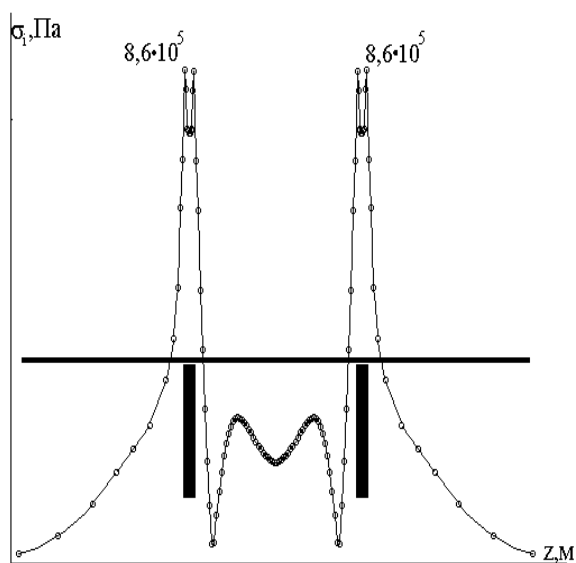


Рис. 6. Распределение интенсивности напряжений вдоль образующей цилиндра при свободном опирании торцов

Как видно из рисунка, максимумы интенсивности напряжений достигаются в закреплении, что является в данном случае неудовлетворительным, также наблюдаются локальные максимумы между кольцами матрицы. При свободном опирании торцов цилиндра максимальные значения интенсивности напряжений имеют место в области контакта цилиндра с матрицей, но в то же время также есть локальный максимум между кольцами матрицы. Наличие максимумов интенсивности напряжений как абсолютных, так локальных в зонах, удаленных от мест взаимодействия заготовки с матрицей, является нежелательным, так как при увеличении значений давления возможно возникновение остаточных деформаций в этих зонах, что приведет к искажению формы цилиндра в целом.

Дальнейшие расчеты были проведены для случая локального приложения давления. Оказалось, что здесь влияние способа закрепления на напряженное состояние значительно уменьшилось. При соотношении $\ell \geq R$ можно считать, что способ закрепления не влияет на напряженное состояние заготовки. На рис. 7 представлено распределение интенсивности напряжений вдоль образующей цилиндра.

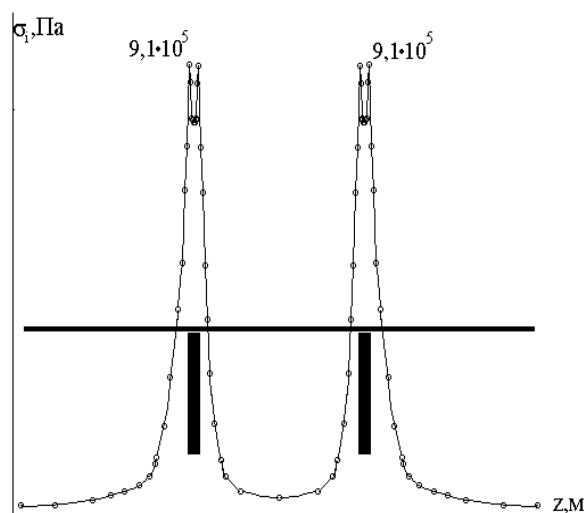


Рис. 7. Распределение σ_1 вдоль поверхности цилиндра

Рассмотрим далее напряженное состояние в зоне контакта при трех различных вариантах исполнения матрицы. Для подобной технологической операции необходимо, чтобы интенсивность напряжений в зоне контакта распределялась равномерно — тогда форма гофра повторит форму сечения кольца, либо

чтобы имелись два ярко выраженных максимума интенсивности – это приведет к образованию «пластических шарниров», которые будут «удерживать» деформированную форму гофра.

Оказалось, что наиболее равномерно интенсивность напряжений распределена при втором варианте исполнения матрицы. Очевидно, что при сглаживании углов матрицы можно добиться полностью равномерного распределения интенсивности напряжений в зоне контакта. Ярко выраженные максимумы интенсивности наблюдаются в зоне контакта при третьем варианте. Дальнейший анализ напряженного состояния позволил определить, что при величине давления 25 МПа в заготовке начинают развиваться пластические деформации. При этом кольца матрицы не изгибаются, т.е. местоположение гофров не изменяется.

Выводы

Рассмотрено моделирование магнитно-импульсной раздачи тонкостенного цилиндра с целью получения окружных гофров. Проанализированы различные законы распределения магнитного давления; лучшие результаты достигаются при локальном приложении

давления. Способы закрепления заготовки при этом не оказывают влияния на результат. Исследованы различные формы матриц и определены их оптимальные конфигурации.

Литература

1. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2001. – 283 с.
2. Лавинский Д.В., Лавинский В.И. Электродинамические и механические процессы при магнитно-импульсной «раздаче» тонкостенных труб // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. – № 11. – С. 76–81.
3. 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. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2000. – №57. – С. 24–34.

Рецензент: Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 июля 2009 г.
