

УДК 621.787, 621.923

ВЫТЯЖКА С УТОНЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (БТЭ) ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Борис Р.С., Холявик О.В., Вишневский П.С.

КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

***Аннотация.** Решено актуальную научно-практическую задачу повышения эффективности изготовления биметаллических трубчатых элементов в машиностроительном производстве за счет разработки и обоснования процесса вытяжки с утонением разнородных листовых металлов и сплавов. Выполнен аналитический и численный расчет процесса совместной вытяжки с утонением двух разнородных металлов с нагревом. Установлена взаимосвязь параметров НДС на граничной поверхности и степени деформации истончения слоев с исходными геометрическими параметрами заготовки, механическими свойствами отдельных слоев и геометрией рабочей поверхности матрицы. Экспериментально показано, что погрешность расчетов не превышает 7 ... 14%. Основываясь на обобщении теоретических и экспериментальных результатов полученных в работе предложена структурная схема расчета технологических параметров процесса вытяжки двухслойной заготовки с утонением, предложены новые перспективные технические решения и реализованы технологические рекомендации, которые необходимы для процесса изготовления БТЭ.*

***Ключевые слова:** биметаллический трубчатый элемент, граничная поверхность, центр деформаций, разнородные металлы, алгоритм решения, деформированное состояние, математическая модель.*

В машиностроении на современном этапе находят широкое применение слоистые металлические композиции трубчатой формы (биметаллические трубчатые элементы). БТЭ, как правило, используются для соединения трубопроводов из разнородных металлов в ответственных конструкциях аэрокосмической техники. Процессы пластического формоизменения двухслойных материалов на сегодня мало исследованы.

Традиционные методы (технологии) изготовления биметаллических деталей цилиндрической формы направлены на крупносерийное производство (металлургические технологии) [1, 2] или имеют высокую трудоемкость и специфику реализации (технологии с использованием энергии взрыва) [3]. Но в тоже время эти технологии экономически нецелесообразно использовать для изготовления единичных или малых серий БТЭ в условиях машиностроительных производств.

Таким образом, развитие теории пластического формоизменения двухслойных материалов приобретает высокую актуальность в машиностроительном производстве.

Авторами работы решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности изготовления биметаллических трубчатых элементов в машиностроительном производстве за счет разработки и обоснования процесса совместной вытяжки с утонением разнородных листовых металлов и сплавов. Научная идея состоит в реализации процесса изготовления биметаллических трубчатых элементов из отдельных слоев листовых заготовок разнородных металлов путем их вытяжки с утонением в нагретом состоянии, что обеспечивает условия для получения заданной формы изделия и соединения слоев [4].

Построена математическая модель процесса совместного деформирования двух разнородных металлов при вытяжке с утонением в нагретом состоянии на основе теории пластического течения, механики композиционных материалов при взаимодействии слоев из разнородных металлов на граничной поверхности, а также экстремальных энергетических принципов пластического формоизменения. Установлена взаимосвязь в виде аналитических зависимостей кинематики течения слоев, степени их деформации и параметров напряженно-деформированного состояния на граничной поверхности с исходными геометрическими параметрами заготовки, механическими свойствами отдельных слоев и геометрией рабочей поверхности матрицы [5, 6].

На основе численного моделирования в CAD/CAE ANSYS и DEFORM-2D дано подтверждение основным аналитическим результатам при угле конусности матрицы $4^\circ \dots 10^\circ$.

Показано, что на выходе из очага деформации на граничной поверхности составной заготовки возникают максимальные сжимающие напряжения и деформации сдвига вблизи поверхности, при этом разница осевых скоростей деформаций достигает нуля, что способствует взаимодействию слоев. Для увеличения зоны действия контактных напряжений и времени контакта слоев под нагрузкой предложено использование на конусной поверхности матрицы дополнительного угла $1^{\circ} \dots 2^{\circ}$ [7].

Экспериментальное исследование выполнено для различных сочетаний сплавов: АМГ5+ВТ1-0, АМГ5+12Х18Н10Т, АМГ5+Л63 и другие. Сравнение расчетных результатов и экспериментальных данных показало, что максимальная погрешность расчета энергосиловых параметров не превышает 7...10%, опережение слоя с меньшим пределом текучести не превышает 9...11%, деформации толщин слоев после вытяжки с утонением не превышает 10...14% для разных коэффициентов механической неоднородности металлов. Металлографический анализ показал, что при деформации утонения стенки 40...50% между слоями возникают металлические связи, которые формируют соединение слоев [8].

Разработаны технологические рекомендации по реализации процесса совместной вытяжки двух разнородных металлов, предложен алгоритм расчета технологических параметров процесса вытяжки двухслойной заготовки с утонением, которые необходимы для изготовления БТЭ. Получены новые перспективные технические решения, которые обеспечивают эффективность совместной вытяжки с утонением разнородных металлов.

Экспериментально отработан технологический процесс изготовления и получены опытные образцы БТЭ [9].

Список литературы

1. *Тітов В. А. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням* / В.А. Тітов, Т.М. Лабур, Р. С. Борис // Технологические системы. – 2007. – № 1. – С. 33–39
2. *Тітов В. А. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різнорідних матеріалів витягуванням* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, М.С. Тривайло // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2009. – № 56. – С. 154–159. – (Серія «Машинобудування»).
3. *Резниченко В. И. Экспериментальный промышленный комплекс сварки взрывом Государственного предприятия. Конструкторское бюро «Южное им. М.К. Янгеля»* / В.И. Резниченко, С.Н. Пахомов, С.Е. Мостипан // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 11/47. – С. 102–108.
4. *Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану при витягуванні з потоншенням двошарового металу* / В.А. Тітов, Р. С. Борис // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С.45–52.
5. *Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану витягування з потоншенням ідеальнопластичного двошарового металу* / Тітов В.А., Борис Р.С. // Обробка матеріалів тиском. – 2012. – №1 (30). – С. 45-52.
6. *Борис Р.С. Особливості врахування сил тертя при витягуванні з потоншенням двошарових заготовок* / Борис Р.С., Тітов В.А., Вишневіський П.С. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2 (31). - С. 22-29.
7. *Тітов В.А. Обґрунтування та реалізація дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, П. С. Вишневіський, О. О. Лук'яненко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – №59. – С. 13–18. – (Серія «Машинобудування»)
8. *Тітов В.А. Влияние особенностей конструкции рабочей поверхности матрицы оснастки на параметры процесса вытяжки с утонением биметаллических трубчатых элементов* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, Е.И. Богодист // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 45. – С. 34–42.
9. *Тітов В.А. Особенности конструкций вытяжных матриц и их влияние на процесс вытяжки биметаллических трубчатых изделий* / Тітов В.А., Борис Р.С., Богодист Е.И. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. Россия, Москва – 2012. – №9.