УДК 004.89:658.512

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Валиев А.М., Панкратов Д.Л.

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережные Челны, e-mail: AjMValiev@kpfu.ru

Применение композиционных металлических изделий позволяет сочетать технические свойства различных марок сталей в одном цельном изделии. На сегодняшний день известны различные способы сборки указанных изделий в неразъемные соединения с достижением заданных показателей качества. Наибольший интерес представляют способы, основанные на пластической деформации. Для данных способов характерным является то, что неразъемное соединение получают совместной пластической деформацией соединяемых элементов без их оплавления. Однако достижение заданной точности геометрических размеров изделия и прочности неразъемного соединения существенно зависит от решений, принимаемых на этапах технологической подготовки и управления технологическом процессом. Для решения поставленной задачи на основе проведенных исследований разработана автоматизированная система моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемного изделия с использованием элементов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: автоматизированная система, нечеткая логика, управление, композиционные металлические изделия, пластическая деформация

AUTOMATED SYSTEM OF SIMULATION AND MANAGEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLY OF UNLIMITED EQUIPMENT WITH PLASTIC DEFORMATION

Valiev A.M., Pankratov D.L.

Kazan (Volga Region) Federal University Branch in Naberezhnye Chelny, Naberezhnye Chelny, e-mail: AjMValiev@kpfu.ru

The use of composite metal products makes it possible to combine the technical properties of various steel grades in one single piece. To date, various ways of assembling these products into one-piece connections with attainment of specified quality indicators are known. The most interesting are methods based on plastic deformation. For these methods, it is characteristic that an integral joint is obtained by joint plastic deformation of the joined elements without melting them. However, the achievement of a given accuracy in the geometric dimensions of the product and the strength of an integral joint is highly dependent on the decisions made at the stages of technological preparation and process control. To solve this problem, an automated system for modeling and controlling the technological process of assembling an all-in-one product using artificial intelligence elements was developed on the basis of the studies carried out.

Keywords: automated system, fuzzy logic, control, composite metal products, plastic deformation

В настоящее время разработка и внедрение в производство автоматизированных систем является одним из перспективных путей повышения эффективности функционирования производственной системы. В связи с этим в промышленно развитых странах научные исследования в данной области рассматриваются как приоритетные направления. Особый интерес представляют вопросы автоматизации технологических процессов обработки металлов давлением. Данные процессы позволяют получать заготовки изделий машиностроения с повышенными эксплуатационными свойствами наряду с минимизацией возможного уровня трудоемкости, затрат на материалы, энергоносители и пр. В частности, автоматизация технологических процессов сборки композиционных металлических изделий посредством пластической деформации становится на сегодняшний день актуальной задачей.

Применение в машиностроении неразъемных изделий диктуется целым рядом преимуществ, которыми они обладают в сравнении с изделиями, изготовленными из одного материала. Основным из них является значительная экономия дорогих сталей, сплавов и металлов с сохранением уровня эксплуатационных свойств [1].

Среди известных способов изготовления композиционных металлических изделий особое место занимают способы их сборки в неразъемные соединения пластической деформацией. Для данных способов характерным является то, что неразъемное соединение получают совместной пластической деформацией соединяемых элементов при температуре ниже температуры плавления соединяемых металлов [2].

Вследствие этого в зоне соединения элементов изделия практически отсутствуют структурная и химическая неоднородности, которые наблюдаются при сборке при температурах выше температуры плавления.

На рис. 1 схематично представлен способ сборки осесимметричных композиционных металлических изделий, сочетающий в себе как силовое, так и геометрическое замыкание неразъемного соединения [3]. В качестве соединяемых элементов неразъемного изделия выступают фасонная заготовка 2 и внедряемый в нее стержень 1.

Процесс сборки изделия состоит из четырех последовательных этапов:

- 1. Внедрение стержня: нагрев фасонной заготовки 2 до температуры горячей пластической деформации и внедрение в неё стержня 1 на глубину $l_{_{\rm BH}}$ (рис. 1, a).
- 2. Выдержка соединения: прогрев внедренной части стержня в течение времени $\tau_{\text{кр}}$ с целью снижения предела текучести его материала. В качестве источника тепла для прогрева стержня выступает фасонная заготовка.
- 3. Высадка стержня: заполнение кольцевого зазора 3 материалом стержня за счет его высадки на величину Δl (рис. 1, б).
- 4. Окончательная сборка изделия: движением кольцевого инструмента 5 на ΔH_{π} производят окончательную сборку изделия (рис. 1, в).

На рис. 1, г, представлена 3D-модель элементов в сборе.

Фасонная форма заготовки обеспечивает: на этапе внедрения стержня протекание процесса формоизменения заготовки по схеме открытой прошивки с образованием кольцевого зазора с минимальной бочкообразностью боковой поверхности без утяжины (рис. 1, а), а на этапе высадки стержня — локализацию деформации только во внедренной части стержня, когда формоизменение боковой поверхности ограничено

стенками матрицы (рис. 1, б). Форма и размеры фасонной заготовки должны учитывать особенности пластического формоизменения при открытой прошивке.

Достижение заданных показателей качества сборки неразъемных изделий, таких как точность геометрических размеров изделия, прочность неразъемного соединения, зависит от принимаемых решений, как на этапах технологической подготовки, так и на этапе управления самим технологическим процессом. Решение поставленной задачи возможно только при использовании автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемного изделия с использованием элементов искусственного интеллекта.

В результате проведенных исследований разработана автоматизированная система моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией, структурная модель которой представлена на рис. 2. Данная система позволяет производить автоматизированную подготовку и управление технологическим процессом сборки композиционных металлических изделий в режиме реального времени. Система состоит из блоков АСТПП и АСУ ТП.

В составе блока АСТПП:

- модуль анализа технологичности: решает задачу о применимости технологии по геометрическим параметрам и проверке на совместимость прочностных свойств соединяемых элементов композиционного металлического изделия;
- модуль моделирования заготовок и параметров технологического процесса: производит расчет размеров фасонной заготовки и стержня; назначает параметры технологического процесса; формирует входные данные для блока АСУ ТП.

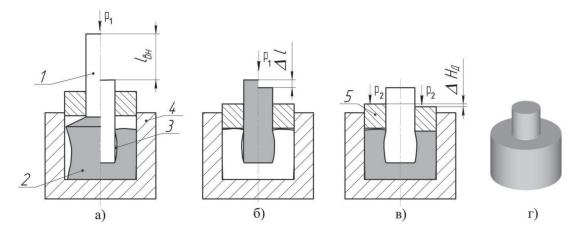


Рис. 1. Схема способа сборки неразъемных изделий

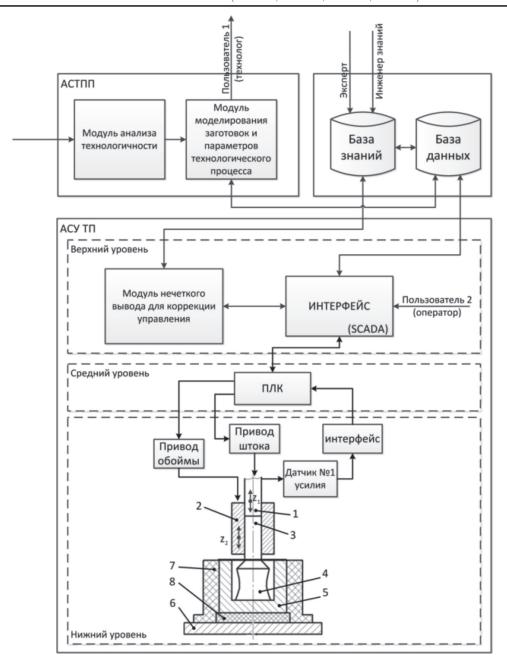


Рис. 2. Структурная модель автоматизированной системы моделирования и управления технологическим процессом сборки неразъемных изделий пластической деформацией: 1 — шток; 2 — обойма; 3 стержень; 4 — фасонная заготовка; 5 — матрица; 6 — нижняя плита; 7 — теплоизоляционный кожух; 8 — теплоизоляционная прокладка

Блок АСУ ТП построен по трехуровневому принципу:

- Нижний уровень. На данном уровне осуществляется согласование сигналов датчиков с входами устройства управления, а также вырабатываемых команд с исполнительными устройствами.
- Средний уровень. ПЛК (PLC, Programable Logic Controller) на основе данных о состоянии контролируемых параме-

тров выдает сигналы управления исполнительным устройствам.

– Верхний уровень. Представляет собой интеллектуальную надстройку в виде модуля нечеткого вывода, осуществляющего коррекцию управления процессом сборки на основе нечетких правил в зависимости от данных, получаемых с датчиков нижнего уровня.

Для производственной реализации технологического процесса разработан способ

управления, обеспечивающий сборку композиционного металлического изделия в неразъемное соединение в режиме реального времени с применением нечеткой логики. При данном способе обеспечивается локализация деформации в соединяемых элементах изделия в соответствии с этапами технологического процесса. На рис. 3 представлен пример цикла сборки неразъемного изделия.

В основе способа — управление перемещениями z_1 и z_2 штока пресса 1 и привода обоймы 2 соответственно (см. рис. 2), временем выдержки соединения $\tau_{\text{кр}}$ в следующей последовательности (рис. 3):

- 1. На этапе «внедрения стержня» обеспечивается перемещение привода штока на $z_1 = l_{_{\rm BH}}$, мм. Управление осуществляется ПЛК. Значение $l_{_{\rm BH}}$ рассчитывается на этапе АСТПП и записывается в БД.
- 2. На этапе «выдержки» обеспечивается время выдержки $\tau = \tau_{\rm kp}$, сек. Управление осуществляется ПЛК.
- 3. На этапе «высадка стержня» обеспечивается перемещение привода штока на $z_1 = \Delta l$, мм. Управление осуществляется ПЛК. Значение Δl рассчитывается на этапе АСТПП и записывается в БД.
- 4. На этапе «окончательная сборка» обеспечивается перемещение привода обоймы на $z_2 = \Delta H_{\pi}$, мм. Управление осуществляется ПЛК по правилу: Если усилие P>0, то «стоп привод обоймы». Источник информации об усилии датчик усилия.

Определение реального времени $\tau_{\text{кр}}$ традиционными способами ограничено

возможностью измерения температуры как заготовки, так и стержня в зоне соединения. В связи с этим в качестве информативного параметра управления вторым этапом сборки предложено использовать данные о фактическом удельном усилии, полученные на этапе внедрения стержня. Таким образом, по данным с нижнего уровня об удельном усилии на первом этапе сборки модуль нечеткого вывода на основе базы знаний определяет значение $\tau_{\rm кp}$ для реальных условий процесса.

В основе систем нечеткого вывода лежит понятие лингвистической переменной, которая состоит из следующих объектов:

$$< X, U, T(x), G, S >$$
, (1)

где X – имя переменной; U – универсальное множество; T(x) – нечеткие метки; G и S – синтаксические и семантические правила соответственно [4, 5].

В качестве \overline{X} задаются следующие параметры процесса сборки неразъемного изделия, а именно:

- -D диаметр корпусного элемента изделия;
- -d/D отношение диаметра стержня к диаметру корпусного элемента изделия после сборки;
- $-H_0/\overline{D_0}$ отношение диаметра корпусного элемента изделия к его высоте до сборки;
- -p удельное усилие деформирования по схеме открытой прошивки фасонной заготовки;
 - $-\tau_{_{\text{KD}}}$ время выдержки соединения.

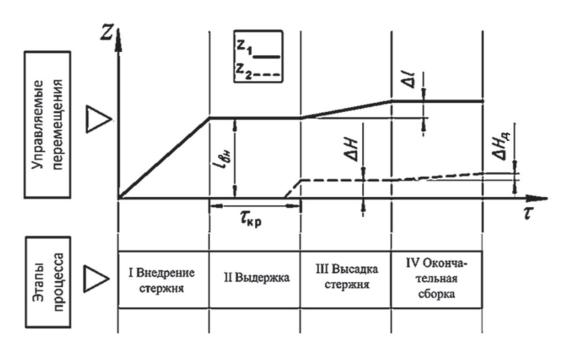


Рис. 3. Пример цикла сборки неразъемного изделия

Универсальное множество U представляет собой множество значений X, которые зависят от параметров объекта управления: D от 20 до 40 мм; d/D от 0,25 до 0,5; H_0/D_0 от 1,0 до 1,5; p от p_{\min} до p_{\max} МПа, τ_{\ker} от τ_{\ker} до τ_{\ker} сек. Значения p, τ_{\ker} и их диапазоны зависят от реологических и теплофизических свойств материалов соединяемых элементов неразъемного изделия.

Лингвистические переменные D, d/D, H_{0}/D_{0} , p, $au_{{}_{\mathrm{KD}}}$ в диапазоне своих значений представляют собой линейные зависимости, вследствие этого в качестве функции выбрана принадлежности треугольная функция, поскольку с помощью нее лучше описываются линейные участки.

Для нахождения значений лингвистических переменных p, $\tau_{_{\mbox{\tiny kp}}}$ на границах температурного интервала деформирования материала фасонной заготовки для различных комбинаций переменных D, d/D, H_0/D_0 , были проведены экспериментальные исследования сборки неразъемных изделий на примере изделия: стержень из X12M, фасонная заготовка из стали У10А, нижняя граница температурного интервала деформирования – 1000°C, верхняя – 1200°C.

Используя данные лингвистические переменные, разработаны нечеткие правила управления следующего вида:

ЕСЛИ
$$D$$
 И d И H_0/D_0 И p ТО $\tau_{_{\rm KD}}$

Далее производится формирование второго уровня базы знаний следующего вида:

ЕСЛИ
$$D=20$$
 И $d=0.25$ И $H_{\rm o}/D_{\rm o}=1.0$ И $p=247$ ТО $\tau_{\rm kp}=16;$

ЕСЛИ
$$D=20$$
 И $d=0.375$ И $H_0/D_0=1.0$ И $p=216$ ТО $\tau_{\rm kp}=11.5$;

ЕСЛИ D=40 И d=0.5 И $H_0/D_0=1.5$ И p=216 138 ТО $\tau_{\rm kp}=58$.

На основе разработанной базы знаний определяются нечеткие управляющие значения, с помощью которых производится процесс дефаззификации – преобразование нечетких величин в четкие, с помощью которых осуществляется управление выдержкой соединения. Для дефаззификации используется алгоритм Мамдами [6, 7].

Для проверки адекватности управляющей модели проведено сравнение экспериментальных и данных значений $\tau_{\rm km}$, полученных в результате нечеткого вывода, и вычислена величина среднеквадратичной Значение среднеквадратичной ошибки составило 2,74%, что обеспечивает необходимую точность при управлении процессом сборки в реальных условиях.

Была произведена апробация разработанной системы для технологии изготовления составного инструмента для пробивки отверстий, представляющего собой неразъемное изделие из сталей X12М (стержень) и У10А (фасонная заготовка) с d = 12 мм; D = 31 мм; H = 21 мм; $l_{\rm cB} = 15$ мм. При изготовлении пуансона из стали У10А стойкость его составляет 40–80 тыс. ударов, а из X12M – 150–200 тыс. ударов.

По результатам механических испытаний образцов предел прочности неразъемного соединения на разрыв составил 241-265 МПа на единицу площади контактной поверхности соединяемых элементов изделия. Проведен анализ геометрической точности полученного неразъемного изделия, в результате которого получено значение отклонения по массе изделия равное 7,57%.

Таким образом, получено композиционное металлическое изделие с отклонением геометрических параметров в пределах диапазона точной горячей объемной штамповки, который равен 5-25% по массе (объему) поковки, что позволяет использовать его в различных областях машиностроения.

Список литературы

- 1. Шибаков В.Г., Калашников В.И., Соколова Ю.А. и др. Производство композиционных материалов в машиностроении: учеб. пособие. - М.: КНОРУС, 2008. - 96 с.
- 2. Материаловедение. Технология композиционных материалов: учебник / А.Г. Кобелев, М.А. Шаронов, О.А. Кобелев, В.П. Шаронова. – М.: КноРус, 2016. – 270 с.
- 3. Pankratov D.L., Shibakov V.G., Valiev A.M., Valieva R.F. Technology of manufacturing of multiple core stamp tools by plastic deformation // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – № 86(1).
- 4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. 2-е изд. (эл.): учебное электронное издание / А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний., 2013. – 801 с.
- 5. Илюхин А.Н. Применение нечеткой логики в автоматизированной системе испытаний дизельных двигателей с использованием метода Саати: дис. ... канд. техн. наук (05.13.06) / Илюхин Алексей Николаевич; Кам. гос. инж.экон. акад. - Набережные Челны, 2009. - 122 с
- 6. Khosravanian R., Sabah M., Wood D.A., Shahryari A. Weight on drill bit prediction models: Sugeno-type and mamdani-type fuzzy inference systems compared // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – № 36. – P. 280–297.
- 7. Chen Y., Wang D., Tong S. Forecasting studies by designing mamdani interval type-2 fuzzy logic systems: With the combination of BP algorithms and KM algorithms // Neurocomputing. - 2016. - № 174. - P. 1133-1146.