

ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПЕРАЦИИ ФАЛЬЦОВКА. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© 2014 В.А. Глушенков¹, И.А.Беляева²

¹ Самарский научный центр РАН

² Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 28.04.2014

В статье рассмотрены особенности комбинированной технологии сборки панелей, осуществляющей воздействием на деформируемый борт статической и динамической нагрузками за один рабочий ход пресса, т. е. без остановки деформирующего инструмента. Приведены результаты компьютерного моделирования предложенного процесса, где, в первую очередь, определено напряженно – деформированное состояние (н.д.с.) материала борта в характерных точках. Получена картина н.д.с. во времени и в зависимости от формы и интенсивности нагрузки, геометрических размеров и марки материала заготовки, что позволило выявить особенности, механизм статико-динамического деформирования, сформулировать научно обоснованные рекомендации по проектированию комбинированного технологического процесса фальцовка с обеспечением требуемого качества соединения.

Ключевые слова: фальцовка, комбинированная технология, импульсное нагружение, компьютерное моделирование.

1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

В работах [1, 2, 3] приведена технологическая схема комбинированного процесса фальцовки – сборки панелей (наружной и внутренней) с использованием статического и динамического воздействий (рисунок 1).

Для реализации этой схемы разработан штамп с вмонтированным в матрицу индуктором, соединенным с магнитно-импульсной установкой.

Согласно этой схеме предполагается первый переход (вытяжку - гибку борта на угол 90°) осуществлять в инструментальном штампе, а далее, не останавливая процесс, осуществить второй переход (фланцовку на угол 180°) с использованием динамической нагрузки - импульсного магнитного поля (рис. 2).

Таким образом, на втором этапе на напряженно-деформированное состояние материала заготовки, возникшее в процессе статической вытяжки гибки, (1-й этап), накладывается н.д.с., соответствующее динамическому деформированию (2-й этап). Ставится задача исследования особенностей статико-динамического деформирования, изменения н.д.с. материала деформируемого борта во времени для характерных точек в зависимости от формы и интенсивности силового воздействия, геометрических размеров борта, марки материала. Особое внимание должно быть

Глушенков Владимир Александрович, кандидат технических наук, начальник отдела металлофизики и авиационных материалов, профессор кафедры обработки металлов давлением, СГАУ. E-mail: vgl@ssau.ru

Беляева Ирина Александровна, старший научный сотрудник.



Рис. 1. Сборочный узел, реализуемый с использованием операции «фальцовка»

уделено оценке контактных напряжений между панелями, определяющих качество сборки.

2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС КОМБИНИРОВАННОЙ ФАЛЬЦОВКИ

На уровень контактных напряжений влияет много факторов. Проведенные предварительные эксперименты позволили выявить основные из них. Так, из полученного уравнения регрессии следует, что такими значимыми факторами являются форма и интенсивность нагрузки, геометрические размеры соединения и марка материала.

Форма нагрузки (прямоугольная – равномерная 1, трапециoidalные возрастающая 2 или убывающая 3) определяется взаимным расположением токопровода индуктора и кромки фланцуемого борта после первого перехода рисунок 3.

Интенсивность нагрузки зависит от энергии W, запасенной в батарее конденсаторов МИУ. Динамическое воздействие при этом определялось по реальной токовой кривой, снятой в процессе эксперимента.

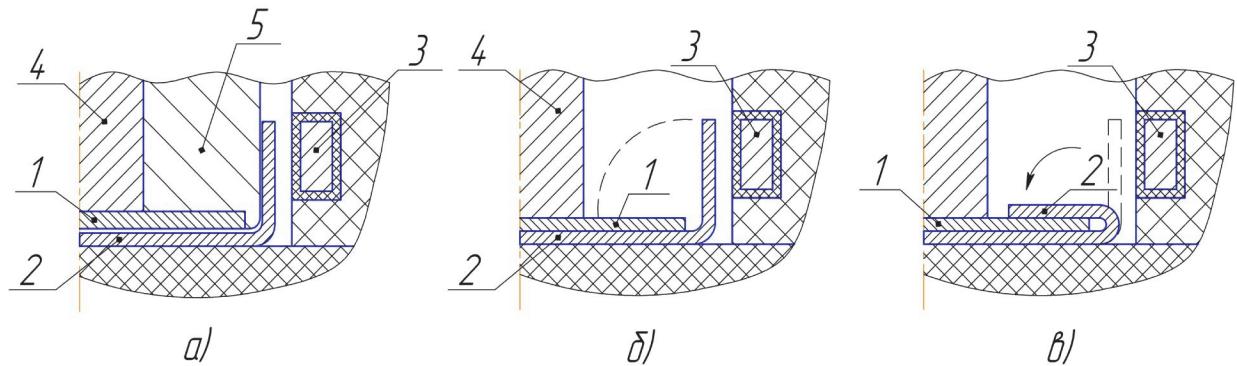


Рис. 2. Схема комбинированной технологии фальцовки:

последовательность работы модернизированного штампа

1 – внутренняя панель; 2 - наружная панель; 3 - токопровод индуктора; 4 - прижим; 5 – пuhanсон
а) окончание первого этапа; б) исходное состояние второго этапа; в) конечное положение

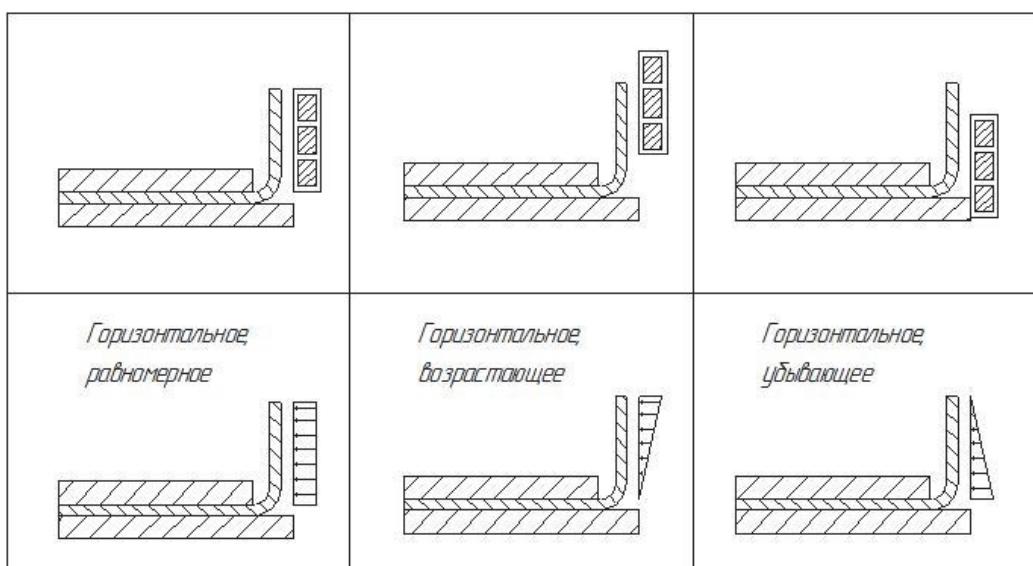


Рис. 3. Форма динамической нагрузки при различном расположении токопровода и кромки борта в начальный момент второго этапа фальцовки

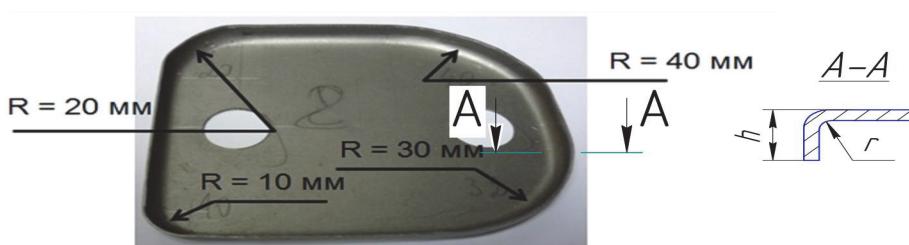


Рис. 4. Геометрические размеры фланцуемого борта

Из геометрических размеров наибольший интерес представляют: высота фланцуемого борта h , радиусы фланцовки в плане R и по толщине r (рис. 4).

Для компьютерного моделирования, исходя из производственных соображений, установлен следующий диапазон их значений: $h = 5 - 14$ мм, $R = 20 - 50$ мм, $r = 1 - 5$ мм. При толщине заготовки $t = 0,8$ мм. Марка материала внешней панели сталь 08 КП и алюминиевый сплав АМГ6М. Динамические свойства этих материалов взяты из работы [4]

3. МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для компьютерного моделирования использован программный продукт MSC NASTRAN/MSC/MARC, а предложенная схема последовательности решения поставленной задачи приведена на рис. 5.

При этом, как первый шаг компьютерного моделирования должен быть выполнен модальный анализ, позволяющий определить значение критической нагрузки, не приводящей к потере

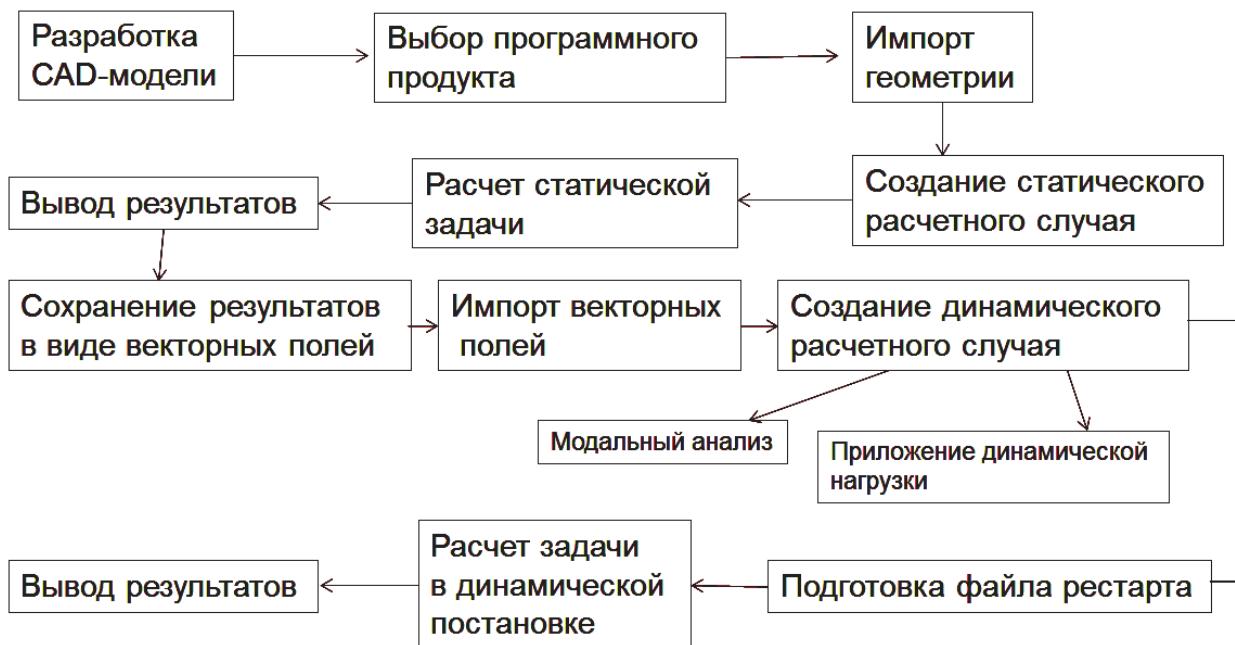


Рис. 5. Схема создания комбинированного расчетного случая

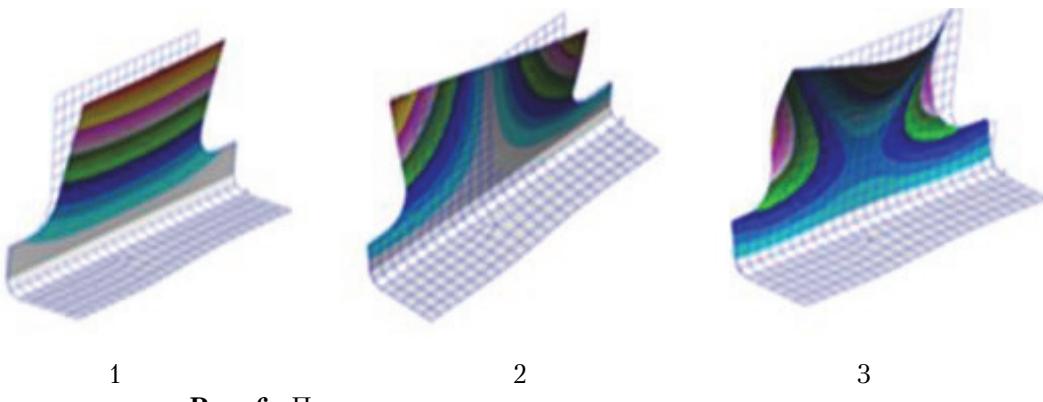


Рис. 6. Пример результата модельного анализа
для первых трех низших собственных частот и форм колебаний

устойчивости, неуправляемости процесса деформирования и неустойчивому ее решению (рис. 6)

Из рисунка видно: что нагрузка для случая 1 не превышает критического значения (порождает только изгибные деформации), а для случаев 2 и 3 – она выше критической (дополнительно возникают еще крутильные напряжения).

В методике компьютерного моделирования использован импорт векторных полей для переноса статического результата в динамическое решение (рис. 7)

Таким образом, н.д.с. как конечный результат статического деформирования (первый этап) в момент приложения динамической нагрузки при-

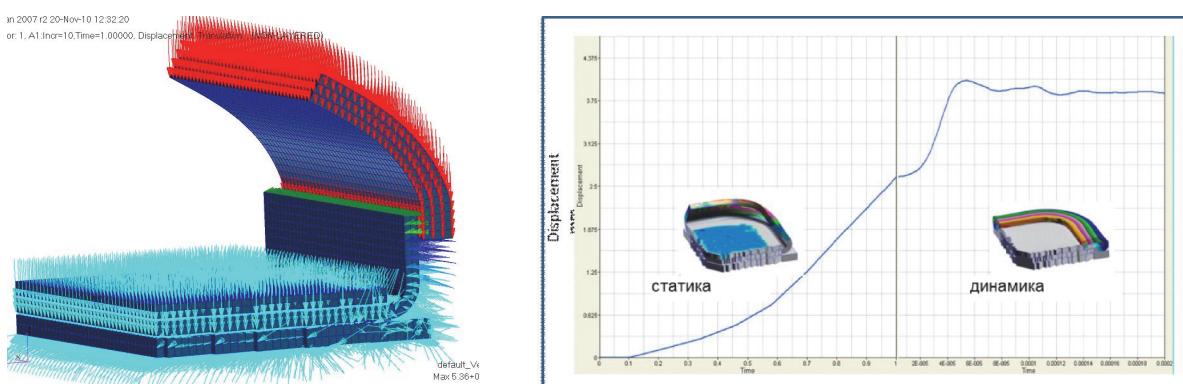


Рис. 7. Совмещение статического и динамического решений

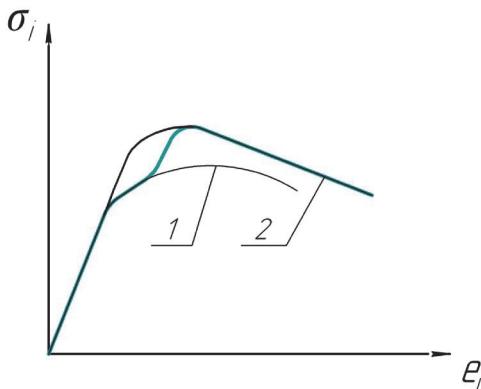


Рис. 8. Схема перехода со статической (1) на динамическую (2) кривую упрочнения

нимается как начальное состояние при дальнейшем рассмотрении динамического деформирования (второй этап). Одновременно осуществляется переход со статической кривой упрочнения на динамическую. Возможность такого перехода описана в работе [5] и показана на рис. 8.

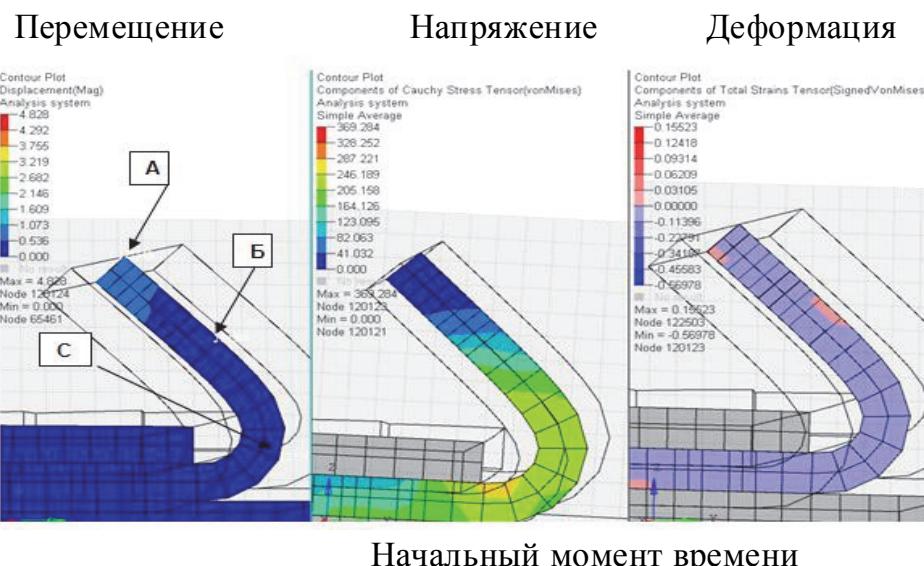
4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведенное компьютерное моделирование позволило оценить напряжения и деформации в характерных точках деформируемого материала в различные моменты времени (рис. 9). При этом искомые напряжение и деформации увязаны с кинематикой процесса.

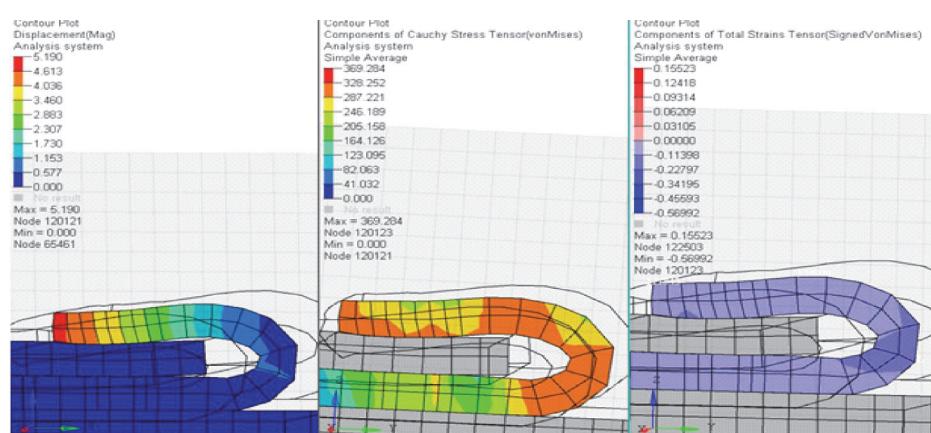
Получены картины кинематики процесса фальцовки при различных формах приложенных нагрузок (рис. 10), из которых видно опережающее, равномерное или запаздывающее перемещение кромки борта.

Установлено, что характер движения борта определяет напряженно-деформированное состояние его материала (рис. 11).

Приведенный рисунок позволяет наблюдать развитие деформаций во времени в процессах гибки и соударения борта с внутренней панелью.



Начальный момент времени



Конечный момент времени

Рис. 9. Примеры изменения параметров фланцуемого борта во времени

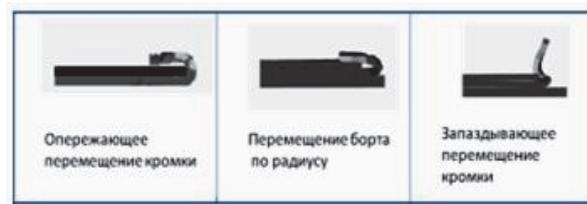


Рис. 10. Форма фланцуемого борта при различных формах приложения нагрузки в фиксированный момент времени.

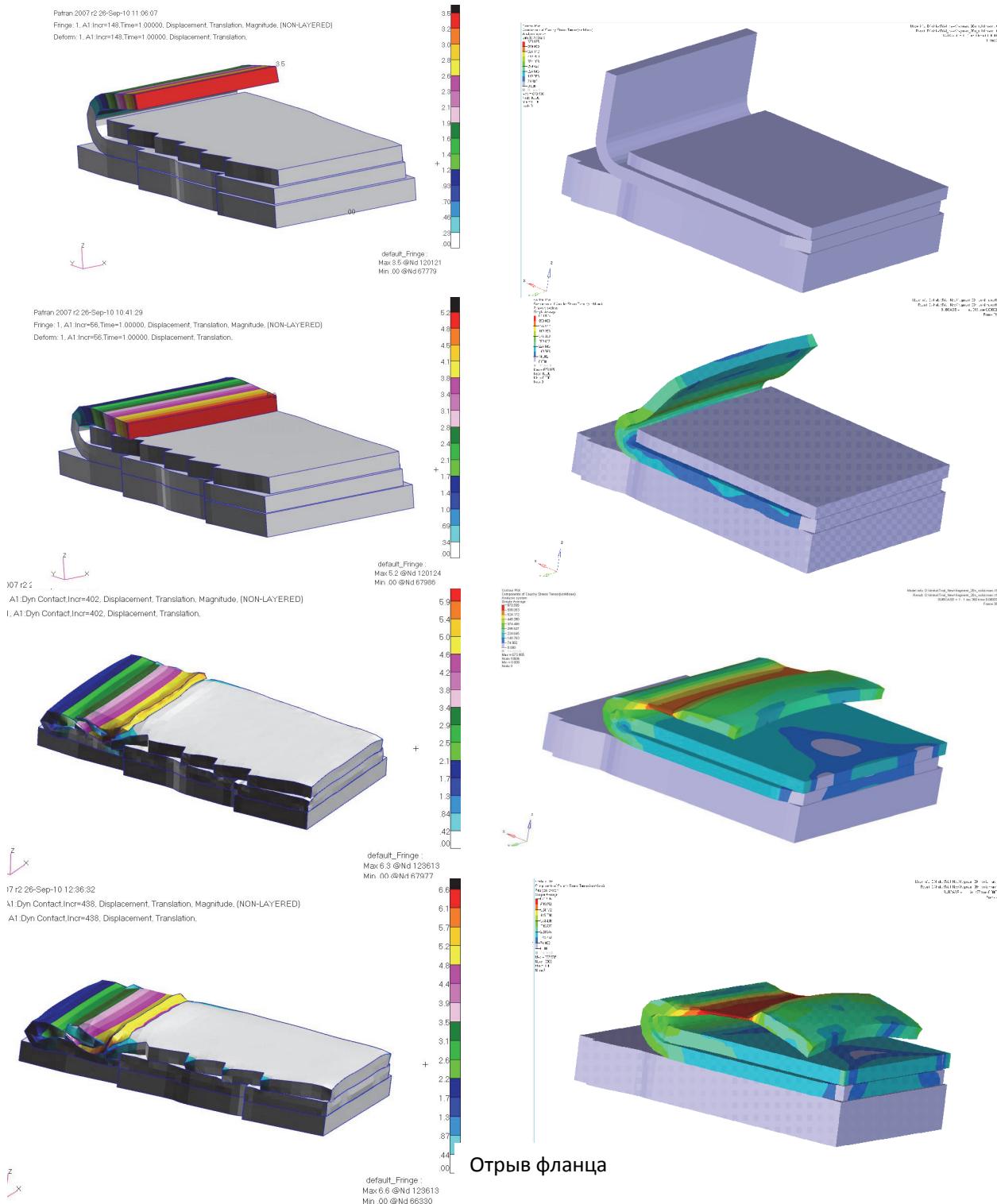


Рис. 11. Фрагменты перемещения (деформации) заготовки при двух формах динамического импульса:
а – возрастающей; б – равномерной

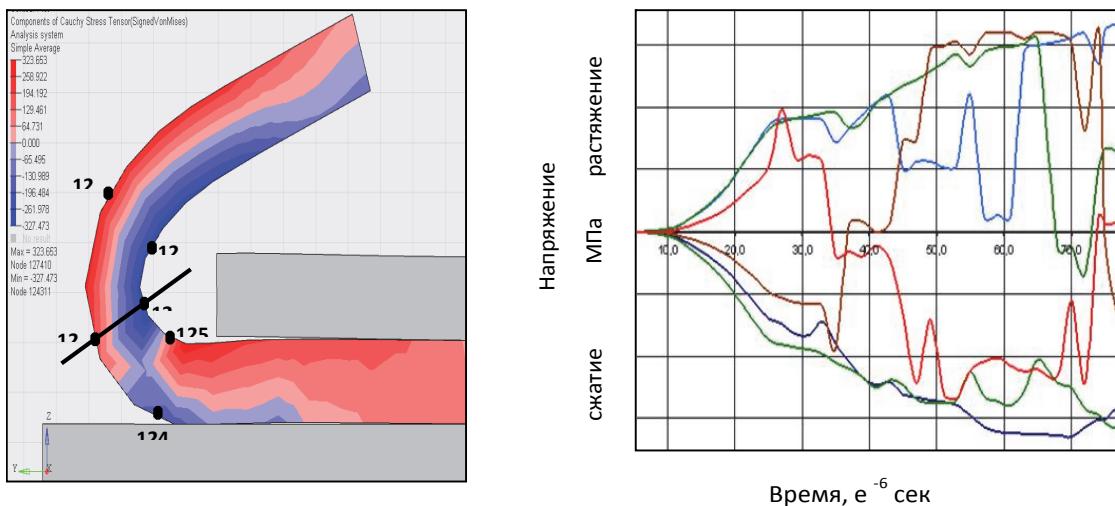


Рис. 12. Изменение напряжений по радиусу гиба г для трех характерных точек

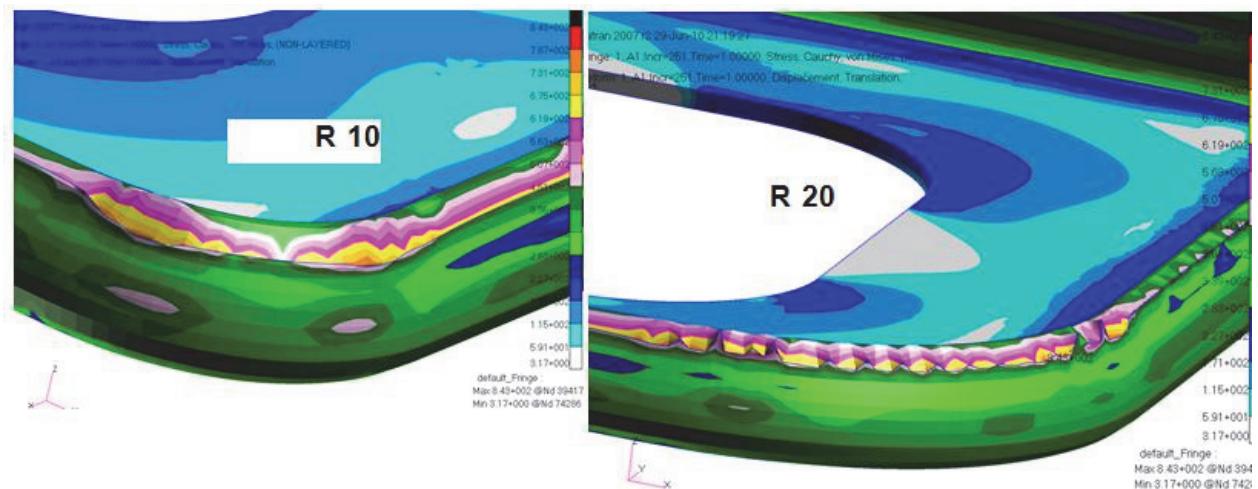


Рис. 13. Пример н.д.с. материала борта на радиусных участках (R 10, R 20)

При избытке энергии, прикладываемой к заготовке, можно видеть течение металла вдоль борта, подсечку внутренней панели и даже отрыв борта от основного металла.

С помощью проведенных компьютерных исследований определена оптимальная с точки зрения качества соединения величина потребной энергии. Кроме того, установлен факт наличия в очаге деформации (по радиусу гиба) растягивающих напряжений (рис. 12).

Рис. 13 иллюстрирует влияние геометрических размеров соединения, в частности, величины радиуса гиба в плане R, на напряженно-деформированное состояние, на процесс гофрообразования.

При $R = 10$ напряжения достигают критических значений, а при $R = 20$ они вдвое меньше и гофрообразования не наблюдаются.

Таким образом, предложенная методика компьютерного моделирования комбинированного процесса фальцовки и проведенное с ее помощью исследование позволили оценить влияние на процесс параметров нагружения, геометрических размеров соединения, механических свойств де-

формируемого материала, выбрать их оптимальные значения, обеспечивающие требуемое качество сборки.

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ ВТОРОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ЭТАПА ДЕФОРМИРОВАНИЯ

1. Кинематика фланцуемого борта определяется формой и интенсивностью нагрузки: отставание кромки борта, захлест (опережение) борта, равномерное деформирование по радиусу, возникновение пластического шарнира, деформирование собранного пакета.

2. На напряженно-деформированное состояние материала борта при выполнении первого статического этапа деформирования накладывается н.д.с. второго - динамического этапа.

Особенностью этого этапа является возникновение растягивающих вдоль фланцуемого борта напряжений. Их возникновение связано с направлением электро-динамических сил между ин-

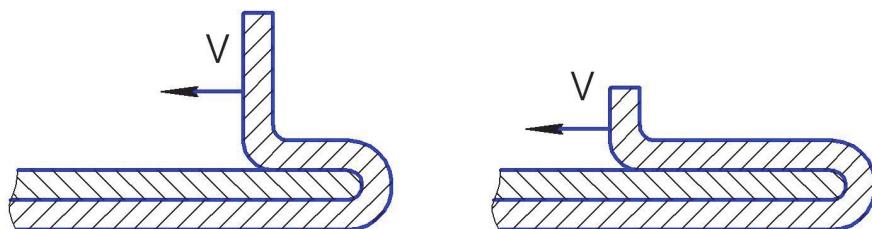


Рис. 14. Причины возникновения растягивающих усилий. Схема действия внешних сил

дуктором и бортом и волновыми эффектами (появление пластического шарнира), приводящим к обтяжке наружного борта по внутренней панели (рисунок 14). Суммарные растягивающие напряжения в очаге деформации при этом обуславливают процесс гибки с растяжением, что уменьшает или сводит на нет эффект пружинения.

3. На заключительном этапе фальцовки происходит соударение борта с внутренней панелью, особенно это характерно для крайних точек. Как показало компьютерное моделирование, соударение может привести к пластическому деформированию металла по толщине (наблюдается его течение вдоль борта), уменьшая эффект отскок борта от внутренней панели.

4. Установлены условия, при которых достигается плотное прилегание борта внешней панели к внутренней (по торцу) без образования внутренних воздушных карманов. Причина плотного прилегания – действие нагрузки в направлении торца внутренней панели, что препятствует перемещению борта в направлении возможного образования «кармана». Это явление наиболее ярко наблюдается при захлестывании края борта (рис. 15).

5. С учетом потери устойчивости (гофрообразования) борта по радиусу R определены минимальные его значения $R = 10$ мм и высота фланцуемого борта $h = 5$ мм.

Установлено, что уровень критических сжимающих напряжений, приводящих к гофрообразованию, достигается значительно позже по сравнению со статическим нагружением, что расширяет предельные возможности комбинированного процесса фальцовки.

Кроме того, предельные возможности расширяются за счет частичного выпрямления гофр при соударении.

6. Скорость деформации оказывает положительное влияние на изменение механических свойств металла. Повышение пластичности при динамическом деформировании обеспечило получение минимального радиуса гиба r , равного $(1.0 - 1.5)t$.

7. Компьютерное моделирование позволило оценить качество полученных соединения панелей, т.е. плотность прилегания зафланцованныго борта к внутренней панели, возникшие при этом контактные напряжения. Так, при $h = 7.0$

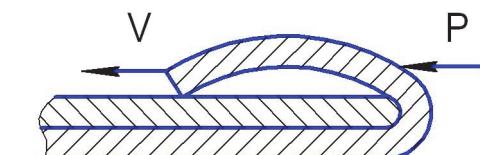


Рис. 15. Направление течения борта при его захлестывании и действии осевой электро-динамической силы Р

мм, $R = 10.0$ мм и энергиях разряда МИУ $W = 2; 6.7; 12.3$ кДж контактные напряжения составили соответственно 50 - 70; 356 - 387; 600 - 680 Мпа., при требуемых по техническим условиям ОАО «АвтоВАЗ» - 250-340 МПа.

ВЫВОД

Разработанная методика компьютерного моделирования комбинированного процесса фланцовки, сочетающего статическое и динамическое (магнитно-импульсное) нагружения, проведенные с её помощью численные исследования позволили выявить механизм процесса, особенности второго его этапа, вооружить технологов инструментом проектирования нового процесса сборки панелей, сформулировать научно обоснованные рекомендации по обеспечению оптимальных параметров процесса, обеспечивающих требуемое качество соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 111468. МПК B21D39/02. Устройство для фальцевого соединения листовых заготовок / В.А. Глушченков, Д.Г. Черников, М.В. Хардин, И.А. Беляева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО СГАУ, ООО «НТФ «Заряд». № 2011122816/02; заявл. 06.06.2011; опубл. 20.12.2011. Зс.
2. Разработка комбинированной технологии сборки деталей / В.А. Глушченков, М.В. Хардин, И.А. Беляева // Кузнецко-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2012. № 3. 17 - 19 с.
3. Assembly of parts by flanging method combining static and dynamic loading / V.A. Glushchenkov, Osama Al-Erhayem, M.V. Khardin, I.A. Belyaeva // JOM – 17. International Conference of Joining Materials. – Helsingor, Denmark, 5 – 8 may 2013/ - session VI. P. 1 – 7.
4. Глушченков, В.А. Картухин В.Ф. Технология магнит-

- но-импульсной обработки материалов: монография. Самара: издательский дом «Федоров», 2014. 208 с.
5. Пэжина П. Основные вопросы вязкопластичности [пер. с англ.]. М, 1968. 164 с.

PECULIARITIES OF THE COMBINED OPERATION OF FOLDING. RESULTS OF COMPUTER SIMULATION

© 2014 V.A. Glushchenkov¹, I.A. Belyaeva²

¹ Samara Scientific Center of the RAS

² Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper discusses peculiarities of the combined technology of assembling of panels; this technology is performed by the action on the deformed flange by static and dynamic loads in a single working stroke of the press, that is, without stopping of the deforming tool. The results of computer simulation of the proposed process are presented where a stressed-deformed state (s.d.s.) of the flange material in characteristic points was determined first. The pattern of the s.d.s. depending on time, a form and intensity of the load, geometrical sizes and type of a workpiece material was obtained, that made it possible to reveal peculiarities and the mechanism of static-dynamic deforming, to formulate scientifically proved recommendations on designing of a combined technology of folding ensuring the joint required quality.
Key words: Folding, a combined technology, pulsed loading, computer simulation.

Vladimir Glushchenkov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Metal-Physics Department, Professor at the Plastic Working of Metals Department, SSAU. E-mail: vgl@ssau.ru
Irina Belyaeva, Senior Research Fellow.