

УДК 621.98.044.7:621.757.002

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ (СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ) ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

© 2016 И.А. Беляева¹, В.А. Глуценков²

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

² Самарский научный центр РАН

Статья поступила в редакцию 12.07.2016

Разрабатываемые в последнее время комбинированные технологические процессы, сочетающие статическое и динамическое нагружения, потребовали разработки методики их компьютерного моделирования. Первые шаги в этом направлении описаны в работах [1,2] при разработке комбинированной технологии «фальцовка» при использовании приведенной методики для анализа других процессов (вытяжки, вытяжки-обрезки припуска, вытяжки-формовки, гибки, редуцирования и других) необходим более общий подход (последовательность шагов) при создании методики сквозного моделирования статико-динамических процессов, чему и посвящена данная работа.
Ключевые слова: компьютерное моделирование, статико-динамический процесс, импульсная магнитная деформация, гибридные и комбинированные технологии, специальные технологии.

В данной статье даётся общий подход – последовательность действий при использовании методики компьютерного моделирования комбинированных (статико-динамических) процессов. При этом предполагаемая последовательность действий проиллюстрирована примерами, используемыми при моделировании процесса «фальцовка», и описанными в работах [1, 2].

1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

В последние годы получают всё большее развитие комбинированные технологии, в которых на разных временных интервалах на обрабатываемый объект (заготовки) одновременно воздействуют статической и динамической нагрузками [3-6]. Циклограммы таких процессов приведены на рис. 1.

На рис. 2 в качестве примера приведено несколько технологических схем комбинированных процессов листовой штамповки: вытяжки-обрезки припуска, вытяжки-формовки, фальцовки.

В качестве динамической нагрузки предложено использовать импульсное магнитное поле [7].

Реализация таких схем стала возможной благодаря встраиваемым в оснастку индукторам [8], соединённым с магнитно-импульсной установкой [9].

Импульсный характер воздействия ИМП, миллионные доли секунды, позволяет осуществить дополнительную операцию или дополнительный переход без остановки прессы.

Сложность проектирования таких техноло-

гических процессов потребовала разработки соответствующих методик компьютерного моделирования, при которых можно было бы на любом этапе деформирования определить напряжённо-деформированное состояние материала заготовки при различных начальных и граничных условиях.

В данной статье даётся общий подход – последовательность действий при использовании методики компьютерного моделирования комбинированных (статико-динамических) процессов. При этом предполагаемая последовательность действий проиллюстрирована примерами, используемыми при моделировании процесса «фальцовка», и описанными в работах [1, 2].

2. СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПЕРАЦИИ

Математическое моделирование дает наиболее полное представление о процессах, которые происходят в металле при изменениях геометрических размеров, формы импульса нагружения, энергосиловых характеристик, статических и динамических свойств металла и других внешних факторах воздействия, конструктивных особенностях обрабатываемых заготовок деталей [10-14].

Методически задача расчета комбинированной технологии показана в виде блок - схемы (рис. 3).

Рассмотрим подготовку и использование каждого блока по отдельности.

3. РАЗРАБОТКА САД – МОДЕЛИ

CAD (Computer Aided Design) системы – компьютерная поддержка проектирования. Предназначены для решения конструкторских задач

*Беляева Ирина Александровна, старший научный сотрудник.
Глуценков Владимир Александрович, кандидат технических наук, начальник отдела металлофизики и авиационных материалов, профессор кафедры обработки металлов давлением Самарского университета.
E-mail: vgl@ssau.ru*

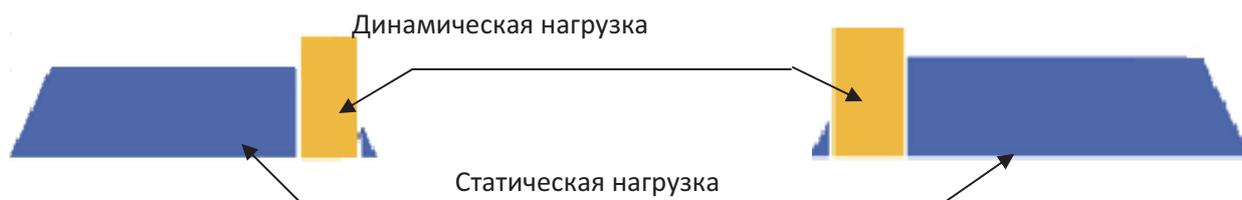


Рис. 1. Примеры циклограмм комбинированных процессов

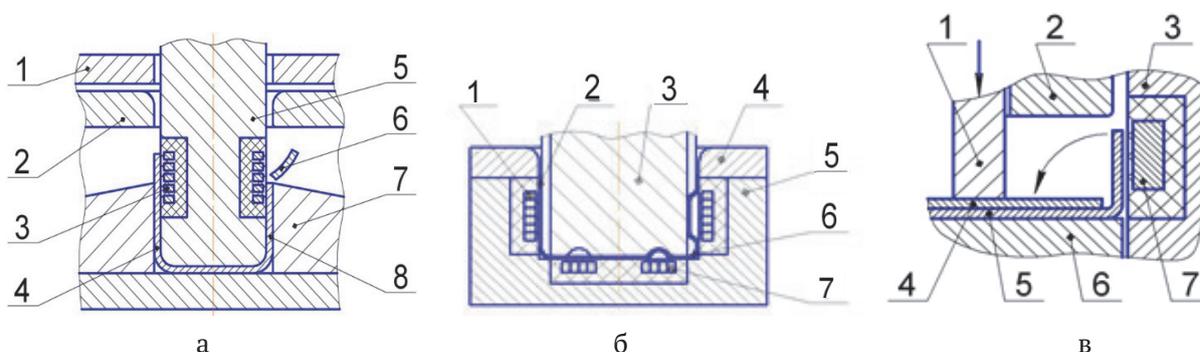


Рис. 2. Технологические схемы комбинированных процессов листовой штамповки:

а) вытяжка-обрезка припуска

- 1 прижим
- 2 вытяжная матрица
- 3 индуктор
- 4 заготовка
- 5 пуансон
- 6 отход
- 7 обрезная матрица
- 8 готовая деталь

б) вытяжка-формовка

- 1 цилиндрический индуктор
- 2 заготовка
- 3 пуансон
- 4 матрица
- 5 корпус
- 6 плоский индуктор
- 7 деталь

в) Фальцовка

- 1 прижим
- 2 пуансон
- 3 матрица
- 4 внутренняя панель
- 5 наружная панель
- 6 выталкиватель
- 7 индуктор

и оформления конструкторской документации (более привычно они именуются системами автоматизированного проектирования – САПР). Как правило, в современные CAD системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей, а также и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т. д.). Ведущие трехмерные CAD системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий.

Построение геометрической модели любой сложности с помощью имеющихся CAD систем может быть осуществлена с применением любых программ, например CATIA, NX и т. д..

При этом, проверяются нормали геометрии, т.к. при дальнейшем решении поставленной задачи, могут возникнуть серьезные проблемы с генерацией сетки КЭМ. Созданная геометрия сохраняется в стандартных форматах, например (IGES, CATPART и т.д.).

4. ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

Прежде чем начинать генерировать конечно – элементную сетку (КЭМ), необходимо решить

каким программным продуктом пользоваться. Выбор программного продукта зависит от того, что именно мы хотим исследовать в выходных данных, какая структура самой задачи (расчет на прочность, технологические переходы, качество продукции, какой вид нагрузки прикладывается на модель и т.д.). Для расчета комбинированной технологии с учетом динамического деформирования предпочтительно использовать многоцелевой программный продукт MSC.NASTRAN/MARC, обладающий обширным набором инструментов и возможностей исследования статических и динамических процессов. В качестве препроцессора (программный продукт, в которой генерируется сама сетка) рекомендуется HyperMesh, а для вывода результатов – в качестве постпроцессора HyperView либо MSC.NASTRAN.

5. ИМПОРТ ГЕОМЕТРИИ

Импорт геометрической модели осуществляется при помощи панели «files», субпанели «import». Данная субпанель позволяет импортировать файлы с CAD-геометрией следующих форматов (расширений): CATIA, IGES, INCA, DXF, STL, PDGS, VDAFS, UG, DES.

Подготовительная работа заключается в создании нескольких дополнительных коллекторов разного цвета и с различными именами для удобства дальнейшей работы. Коллектора создаются при помощи панели «collectors», субпанели «create».

После того как HyperMesh импортирует геометрию, необходимо провести операцию «очистка геометрии» при помощи панели «geom cleanup» (страница «Geom» основного меню). Различного рода разрывы, перекрытия поверхностей, составляющих импортируемую модель, могут мешать созданию конечно-элементной сетки. Устраняя различного рода недочеты импортируемой модели и подавляя границы между смежными поверхностями, можно добиться наилучшего качества получаемой в дальнейшем сетки.

6. СОЗДАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТНОГО СЛУЧАЯ

В опциях для CAD-импорта имеется возможность задавать самому точность импортируемой CAD-геометрии. Выбираем точность 0.1 мм, так как с этой точностью создается большинство математических моделей.

Нажав кнопку «import», запускаем процесс чтения выбранного файла. По его окончании на экране появится геометрическая модель и автоматически создастся коллектор (коллектора), где

она будет находиться.

Выбираем интерактивный (ручной) режим создания сетки, тип элементов смешанный (mixed), в поле ввода ведущего размера зададим любой интересующий нас размер в мм (такой размер задается на относительно ровных, свободных поверхностях). На данном этапе размер элемента не окончательный и его можно будет поменять в любом месте сетки. Выбираем поверхности, на которых надо сгенерировать сетку. После нажатия на панель «формирование сетки» появляются дополнительные субпанели, при помощи которых можно настраивать параметры интерактивной разбивки. Грани выбранных поверхностей, разбиваются на узлы (рис. 4).

После генерации КЭ сетки в расчетной области начинается ее подготовка к расчету. Суть подготовки заключается в присвоении элементам расчетной области свойств обрабатываемых материалов, граничных условий, задания целей решения (статика, динамика, модальный анализ и т.д.). На первом этапе ставится задача смоделировать процесс гибки борта на 90°. Моделируется инструмент, исходя из технологических требований, задается направление усилия поверхность контактов. Граничные условия включают в себя закрепления - наложение в узлах ограничений по степеням свободы и приложение нагрузок (силы, моменты, ускорения и т.п.). Также к граничным условиям относят контактное взаимодействие

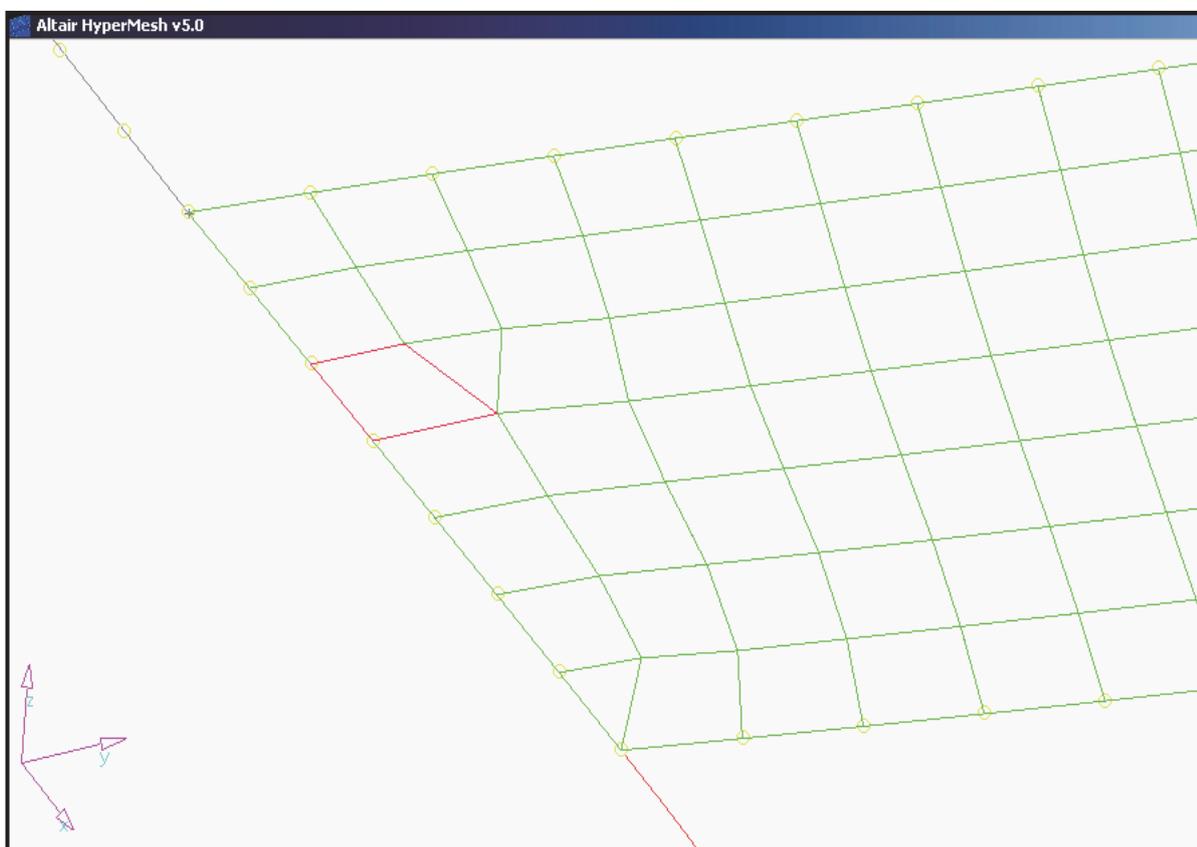


Рис. 4. Пример полученной КЭМ сетки

частей конструкции. Контактное взаимодействие проявляется при деформации или перемещении частей модели в ходе расчета. Контакт порождает ограничение на перемещение частей, сопровождаемое возникающими усилиями при взаимодействии. Для создаваемой модели следует помнить, что для таких контактирующих поверхностей необходим исходный гарантированный зазор, обеспечивающий правильную работу вычислителя. Такой зазор может быть в пределах от 0,05 - 0,1 мм. При задании зазора между оболочечными элементами, следует помнить, что он должен превосходить половину толщины предписанную для данного элемента.

7. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ И ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ

При постановке задачи на любой расчет, нужно помнить, что размер элементов должен быть таким, чтобы обеспечить равномерное взаимодействие поверхностей при контакте и избежать очень больших контактных усилий. Такие усилия могут привести к излишне большой деформации отдельных участков модели и раннему прекращению расчета.

Свойства материалов, в каждом объеме расчетной области, оказывают непосредственное и очень сильное влияние на достоверность расчетов. После всех проделанных подготовительных действий задача ставится на расчет (линейная статика).

8. СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ В ВИДЕ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ

В качестве результатов расчёта получим напряженно-деформированное состояние и распределение деформаций в исследуемых объемах. Что и будет являться начальным условием для динамического расчетного случая.

Для этого экспортируем векторное поле, которое несет в себе информацию о полученных результатах статического расчёта (рис. 5).

9. СОЗДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТНОГО СЛУЧАЯ

Далее через диалоговое окно создается динамический расчетный случай. Однотипно, как и в предыдущем случае импортируем геометрию нашей конструкции. Конечно-элементная модель сетки на этом этапе такая же, как и при статическом случае. Если сетка изменяется (например, измельчается), векторное поле накладывается на изначальные узлы (все узлы модели пронумерованы), а новые будут учитываться в ходе расчета. Этим и удобна процедура рестарта. Таким образом, создается динамический расчетный случай с начальными условиями от предыдущего статического расчета с помощью процедуры рестарта.

10. РЕСТАРТ

Следующим шагом, после статического на-

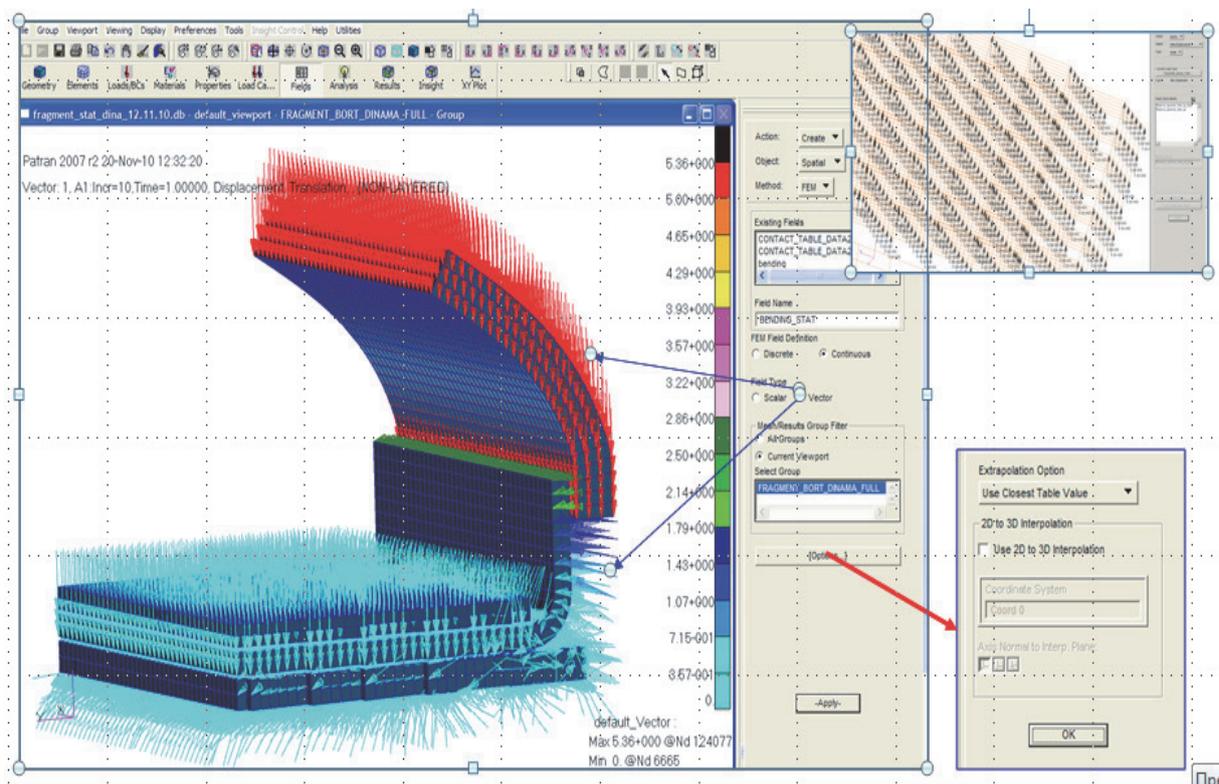


Рис. 5. Импорт векторных полей

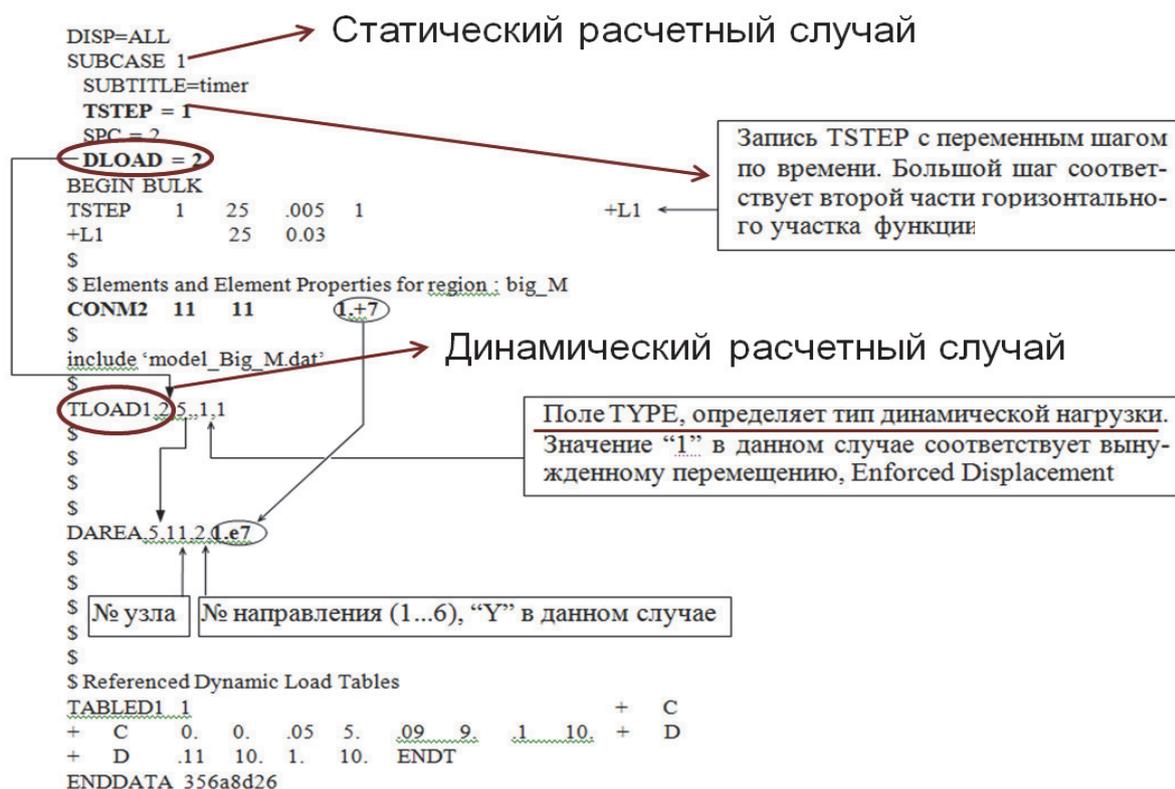


Рис. 6. Пример файла рестарта

гружения, как говорилось выше, необходимо выполнить холодный рестарт с выбранного временного шага расчета. Причем решение, полученное на этом шаге в оригинальном запуске (предшествующему рестарту), используются как начальные условия.

Возможность использования рестарта позволяет вносить в задачу множественные изменения. Обычно они используются для:

- Переопределения условий задачи;
- Переопределения контактных поверхностей;
- Добавления новых контактных поверхностей;
- Изменения параметров контакта и т.д...

Так же рестарт может быть использован для замещения или добавления новых part – мощный инструмент для многопереходной штамповки.

Таким образом, рестарт, как новый анализ, но в этом новом анализе напряжения, деформации, скорости и время анализа берутся из предыдущего расчетного случая.

11. РАСЧЕТ ЗАДАЧИ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ

Нелинейный динамический анализ позволяет создавать давление, разной интенсивности, различной по форме и во времени. Магнитное поле, которое воздействует на заготовку, принимается в виде давления, прикладываемого на изделие. Аналогично со статическим расчетным случаем указываются новые граничные условия: усилие, его направление

и место приложения, задается толщина, заготовки, ее материал, прикладывается векторное поле с начальными условиями. Указываются необходимые выходные данные – деформация, напряженно-деформированное состояние материала и другие характеристики процесса. Ставим на расчет. В результате моделирования комбинированной технологии выявлены все особенности операции, динамика всего процесса, которые должны быть учтены при натурном испытании.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика компьютерного моделирования комбинированных процессов листовой штамповки – сквозного статико-динамического деформирования материалов.
2. Предложенная методика позволяет исследовать меняющееся напряженно-деформированное состояние материала заготовки на всех этапах деформирования, в том числе при решении контактных задач при различных начальных граничных условиях.
3. Описана последовательность действия пользователя при реализации данной методики.
4. Применение в предложенной методике процедуры рестарта даёт возможность при необходимости менять условия задачи на втором динамическом этапе деформирования, например, менять свойства металла, геометрию контактных поверхностей.

5. Компьютерное моделирование комбинированных процессов позволяет понять их механизм, вскрыть особенности, получить научно-обоснованные рекомендации по управлению ими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушченков В.А., Беляева И.А. Особенности комбинированной операции фальцовка. Результаты компьютерного моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2014, № 4. С. 146-153.
2. Беляева И.А., Глушченков В.А. Качество соединения панелей полученного методом комбинированной фланцовки // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. № 6. С. 312-315.
3. Сборка деталей методом «фальцовки», сочетающая статическое и динамическое нагружения / В.А. Глушченков, И.А. Беляева, М.В. Хардин, ОсатаАI-Erhayem // Международная конференция по соединению материалов ЮМ 17. Хельсингор, Дания, 5-8 мая 2013. Стр.1-7.
4. Беляева И.А. Hybrid and combined technologies using static and dynamic loads // 12-ая конференция «JUNIOR EUROMAT 2014». Лозанна, Швейцария.
5. Беляева И.А. Глушченков В.А. Совмещение статической и динамической нагрузок в технологиях машиностроения // IX международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов», 17-19 сентября 2014. г. Минск.
6. Патент 111468. Российская Федерация. МПК В21Д39/02. Устройство для фальцевого соединения листовых заготовок / Глушченков В.А., Черников Д.Г., Хардин М.В., Беляева И.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО СГАУ, ООО «НТФ «Заряд». № 2011122816/02; заявл. 06.06.2011; опубл. 20.12.2011. 3 с.
7. Глушченков В.А., Карпучин В.Ф. Технология магнитно-импульсной обработки материалов: монография. Самара: Издательский дом «Фёдоров», 2014. 208 с.
8. Глушченков В.А. Индукторы для магнитно-импульсной обработки материалов: учебное пособие. Самара: Учебная литература, 2013. 148 с.
9. Юсупов Р.Ю., Глушченков В.А. Энергетические установки для магнитно-импульсной обработки материалов: монография. Самара: Издательский дом «Фёдоров», 2013. 128 с.
10. Rybin Yu.I., Rudskoy A.I., Zolotov A.M. Mathematical modeling and designing of metal forming processes. Moscow: Nauka, 2004 (in Russ).
11. Dunne F., Petrinic N. Introduction to computational plasticity. Oxford University Press. Oxford, 2005.
12. Neto E.S., Peric D., Owen D.R.J. Computational methods for plasticity: theory and applications, John Wiley & Sons Ltd, London, 2008.
13. Sheet Metal Forming Processes Constitutive Modelling and Numerical Simulation. Springer, Heidelberg Dordrecht London New York. 318 pp.
14. Сильвестер П., Феррари П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. М.: Мир, 1986.

THE SEQUENCE OF COMPUTER SIMULATION OF COMBINED (STATIC-DYNAMIC) TECHNOLOGIES OF MECHANICAL ENGINEERING

© 2016 I.A. Belyaeva¹, V.A. Glushchenkov²

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

² Samara Scientific Center of the RAS

The combined technological processes combining static and dynamic loading, which are elaborated in recent years, have required the development of a procedure of their computer simulating. The first steps in this direction are described in works [1, 2] when developing the combined technology “folding”. Using the given procedure for analysis of other processes (stretching, stretching- trimming an allowance, stretching-forming, bending and other) requires a more general approach (sequence of steps) when creating the procedure of the through simulation of static-dynamic processes which has been the objective of the present work.
Keywords: computer simulation, static-dynamic processes, pulse-magnetic deforming, hybrid and combined technologies, special technologies.

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