

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Вина Аунга  
«Вычислительный комплекс моделирования и оптимизации процессов  
формообразования тонкостенных конструкций», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы  
программ»

### 1. Актуальность темы.

В связи с внедрением в производство новых технологических процессов для современного оборудования с числовым программным управлением, режимов и материалов, при изготовлении деталей сложно-конструктивных конфигураций с высокими требованиями к размерной точности и эксплуатационному ресурсу имеется большая потребность в расчете параметров процесса при подготовке производства. Изготовление деталей из крупногабаритных монолитных панелей включает в себя процессы формообразования в режимах пластического деформирования, как при обычных, так и при повышенных температурах. В качестве устройств для формования изделий из листов и панелей в диссертации рассматриваются реконфигурируемый стержневой пуансон и обтяжное оборудование. Для обеспечения высокого качества изделия необходима оценка параметров формообразования с учетом анализа полноразмерных теоретических моделей, что возможно, используя численные методы в моделировании и оптимизации технологических процессов формообразования панелей.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Автором изучены технологические процессы изготовления обводообразующих деталей с помощью методов формообразования и технические возможности оборудования. Приобретение конечной формы детали методом формообразования вызвано накоплением необратимых деформаций в материале. В диссертации представлены известные достижения по математическим моделям деформирования твердых тел, численным методам решения задач механики, основанных на вариационных принципах, и численным методам решения задач оптимизации. Проведен анализ результатов работ других авторов в области моделирования процессов формообразования и способов расчета параметров технологических процессов для улучшения качества конечной детали. На основе указанных данных, в результате диссертационной работы разработаны методы расчета оптимальных параметров технологических процессов формообразования панелей в реконфигурируемом устройстве и обтяжном оборудовании для цифрового проектирования и отработки технологий изготовления новых изделий. Для подтверждения эффективности разработанных алгоритмов автором выполнено решение ряда задач, проведено сравнение расчетных и известных аналитических решений, полученных ранее другими авторами.

### **3. Научная новизна результатов исследований.**

Основные результаты диссертации последовательно раскрываются в пяти главах. Работа изложена на 111 страницах с рисунками и таблицами. Первая глава посвящена обзору технологий формообразования в производстве, включающего многоточечное формование в стержневой установке и обтяжку на прессе монолитных панелей, и способов моделирования. Результаты обзора показали необходимость в использовании для постановки технологических процессов в производстве программных средств для прогнозирования и оценки оптимальных параметров работы оборудования, что требует разработки общих численных методов решения задач оптимального управления в формообразовании деталей. Во второй главе предлагается математическая постановка задач оптимального управления в технологиях формообразования обшивок двойной кривизны. В качестве критериев оптимизации рассматривается накопленная в процессе деформирования работа рассеяния и величина остаточных перемещений. Третья глава посвящена формулировке дискретной задачи оптимального управления. В такой постановке строится аналог функции Беллмана и исходная задача сводится к последовательности вспомогательных более простых задач минимизации функций. В четвертой главе приводится программная реализация метода динамического программирования в системе MSC.Marc, MSC.Patran для задач оптимизации работы технологического оборудования при формообразовании деталей, предусматривающая возможность распределенных вычислений. В пятой главе представлены результаты моделирования и оптимизации технологических процессов формообразования. Предложенный метод уменьшает объем вычислений по сравнению с простым перебором всевозможных путей деформирования и позволяет находить рациональные процессы формообразования не только для идеальной пластинки или оболочки, но и для таких деталей, как панели крыла.

Таким образом, научная новизна состоит в разработке дискретной формулировки задач оптимального управления в технологических процессах формообразования тонкостенных конструкций, позволившей построить численный метод определения оптимальных траекторий деформирования. Реализация метода оптимизации проведена в программном комплексе конечно-элементного анализа MSC.Patran, MSC.Marc и обеспечивает выполнение расчета в последовательном и параллельном на кластере машин режиме.

### **4. Достоверность.**

Степень достоверности результатов проведенных исследований определяется применением известных положений механики деформируемого твердого тела и теории оптимального управления, апробированных методов вычислительной механики с привлечением современных комплексов программ инженерного анализа, а также выполненным сравнением полученных численных решений с аналитическими и анализом сходимости

численного решения.

### **5. Практическая значимость.**

Практическая значимость работы состоит в применении разработанного вычислительного комплекса программ в системе инженерного анализа при моделировании процессов формообразования тонкостенных конструкций, оптимизации траектории деформирования и формы оснастки для проектирования технологических процессов изготовления деталей на автоматизированном оборудовании на этапе подготовки производства.

### **7. Замечания.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Т.к. диссертация по специальности 05.13.18 предполагает определенную научную новизну в математической модели, методе решения и программном комплексе, то уверенный в ее наличии оппонент хотел бы, чтобы она была четко выделена, по отношению к известным результатам во всех 3 составляющих специальности.
2. В п 1.2 диссертации при обзоре условий пластичности упоминается, что наиболее используемыми являются условия пластичности Треска и Мизеса, однако, при решении конкретных задач не указывается – какая функция нагружения выбирается для расчетов.
3. При рассмотрении конкретных примеров вводится в рассмотрение «модуль линейного упрочнения», тогда в математической постановке такой задачи вместо условия пластичности на стр. 21 должна быть записана функция нагружения, содержащая параметры упрочнения.
4. Часть формул, в постановках задач, например, (2.1) (2.5) приводится в общем виде и рецензенту не ясно – являются ли они творением диссертанта или принадлежат другим авторам, может [72]?
5. Согласно [79] диссертационного списка литературы, явление ползучести проявляется, если тело (конструкция) долгое время находится под воздействием температуры, однако все диссертационные расчеты проведены без учета температуры.
6. При решении задачи формообразования панелей с помощью обтяжки результаты расчета по критериям (2.7) и (2.8) либо при некоторых условиях совпадают, либо «практически совпадают». Однако, не проводится сравнение либо с известными результатами, либо с экспериментом.

### **8. Заключение.**

Диссертация Вина Аунга, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития

машиностроительной отрасли, а именно для проектирования, с помощью численного моделирования, новых технологических процессов изготовления деталей сложно-конструктивных форм с высокими требованиями к размерной точности и эксплуатационному ресурсу.

Основные результаты работы достоверны, подробно изложены в тексте диссертации и опубликованы в 17 научных работах, в том числе в 4 статьях в ведущих научных рецензируемых журналах. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Автор имеет свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.18.

Диссертационная работа Вина Аунга «Вычислительный комплекс моделирования и оптимизации процессов формообразования тонкостенных конструкций» удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой механики и компьютерного моделирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет»  
Алексей Викторович Ковалев

А.В. Ковалев

Почтовый адрес: 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1,  
тел. +7 (473) 220-75-21, E-mail: [office@main.vsu.ru](mailto:office@main.vsu.ru), [www.vsu.ru](http://www.vsu.ru)