**К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТОВ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*С.И. Петрушин**, д-р техн. наук, профессор, *С.В. Грубый*** д-р техн. наук, профессор,
*С.Е. Лагунов**, студент

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (354-51)6-22-48
E-mail: psi@tpu.ru*

***Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
E-mail: gru@bmstu.ru*

Металлорежущие инструменты могут служить характерным примером класса тяжело и экстремально нагруженных изделий, так как работают при высоких силовых динамических контактных напряжениях (до 1000 МПа и выше), распределенных крайне неравномерно на ограниченных несколькими квадратными миллиметрами рабочих участках передней и задней поверхностей лезвия, а также нагружены переменными во времени резания тепловыми нагрузками с высоким градиентом температур (от 1000°С до комнатной). При этом лезвие инструмента должно обладать хорошими режущими свойствами, а именно: иметь одновременно высокие жесткость, прочность, твердость, износостойкость, теплостойкость и коррозионную стойкость. Удовлетворить этим подчас противоречивым требованиям чрезвычайно трудно и поэтому долговечность режущих инструментов составляет всего часы и минуты интенсивной эксплуатации в отличие от других деталей машин и конструкций, рассчитанных на годы своего жизненного цикла. Одним из главных из путей создания лезвийных режущих инструментов качественно нового уровня, соответствующих жестким условиям эксплуатации, является их проектирование и изготовление из композиционных инструментальных материалов [1].

До последнего времени исследование и разработка композиционных материалов относилось в основном к сфере интересов материаловедения. При этом после изобретения нового композита изучались его физико-механические свойства и предпринимались более или менее успешные попытки найти области эффективного применения данного материала. В отличие от этого, предлагается другой подход к проблеме [2], основанный на проектировании изделия, заданные свойства и качества которого должны обеспечиваться за счет соответствующей композиции его материала. Это требует объединения знаний в области конструирования изделий (сопромат, теплофизика, механика деформируемого твердого тела и др.) с научно-техническими достижениями в материаловедении.

Как установлено в работе [3], стремление проектировщиков придать изделию максимально возможные эксплуатационные характеристики не является экономически оправданным в связи с конечностью срока его службы. Более рациональным, на наш взгляд, является проектирование изделия на принципах равномерного распределения эксплуатационных свойств во всех его частях с последующим обеспечением экономически обоснованного срока службы. Отсюда вытекают частные принципы оптимизации конструкции, два из которых (равнопрочность и равномерное изнашивание) рассмотрены в [1] применительно к металлорежущим инструментам. При этом под равнопрочностью лезвия инструмента понимаются такие условия его нагружения сосредоточенными силами или контактными напряжениями, при которых внутри него или на его поверхности в каждой материальной точке получается одинаковое напряженное состояние. Под условием равномерного изнашивания (самозатачивания) лезвия понимается такая его форма и физико-механические свойства поверхностного слоя трущихся участков, при которых во всех точках приращение износа во времени имеет одну и ту же величину. Характерно, что выполнение обоих этих условий можно достичь тремя способами: оптимизацией формы режущей части, оптимизацией свойств материала в композиционном лезвии инструмента и совместной оптимизацией формы и структуры. Основой для решения этих задач является теория упругости анизотропных клиновых тел и дифференциальное уравнение изнашивания трущихся поверхностей.

Для достижения поставленных целей проектирования инструментальный материал должен иметь градиентную структуру, то есть быть существенно анизотропным в объеме. При этом важную роль в обеспечении монолитности инструментального композита играют межслойные термические остаточные напряжения, обусловленные технологией получения [4]. В работе [2] рассмотрены условия и сочетания материалов, при которых обеспечивается требуемая трещиностойкость слоистых и клиновых композиционных режущих лезвий. Эти решения позволяют ввести ограничения на инст-

рументальные композиты, как по соотношению толщин смежных слоев, так и по введению слоев с промежуточными характеристиками.

Основными факторами, позволяющими ответить на вопрос, какая композиция инструментальных материалов должна быть осуществлена в той или иной конструкции режущего инструмента, являются условия равнопрочности и равномерного изнашивания. Причем для обеспечения равнопрочности лезвия необходимо вначале иметь решение задачи определения напряженно-деформированного состояния, полученного на основе либо теории упругости, либо метода конечных элементов [2]. Затем, проведя инверсию закона Гука ($E = const/\varepsilon$), можно получить оптимальное распределение модуля упругости инструментального материала в режущем клине. Условие равномерного изнашивания достигается путем обеспечения постоянного приращения износа во времени в каждой точке трущихся поверхностей за счет варьирования интенсивностью изнашивания и перехода к тому или иному инструментальному материалу, нанесенному на поверхность.

Отметим, что в зависимости от задаваемых исходных параметров решение рассмотренных выше задач оптимального проектирования даёт целый спектр оптимальных решений по частным целевым функциям прочности и износостойкости, что позволяет выбрать однозначное решение путём их сравнения с глобальной целью проектирования – получение требуемого экономически обоснованного срока службы инструмента [3]. Это уже не задачи анализа и оптимизации конструкции режущей части, а задача его синтеза. В общем виде процесс создания оптимального с рассматриваемой точки зрения проекта лезвия инструмента должен иметь следующую последовательность.

1. Определение оптимальной долговечности изделия на основе экономически обоснованного срока службы машины.

2. Расчет по критерию равнопрочности спектра оптимальных форм лезвия из заданного материала, нагруженного как сосредоточенной, так и распределенной силовой и тепловой нагрузкой.

3. Определение оптимальной структуры материала лезвия заданной формы по условию равнопрочности.

4. Синтез спектра оптимальных решений по форме и вариантов проектов с оптимальным распределением физико-механических свойств материала изделия по условию равнопрочности. Этот этап должен решаться методом последовательных приближений, а именно: получив первое решение по равнопрочной форме, рассматривается соответствующее ей распределение модуля упругости материала лезвия, а затем вновь численным методом создается оптимальный профиль в соответствии с измененным НДС, и так далее. Расчёт ведётся до тех пор, пока форма изделия не начнёт соответствовать структуре его материала с заданной степенью приближения.

5. Расчет спектра оптимальных проектов формы трущихся поверхностей лезвия, изготовленного из определённого материала, по критерию равномерного изнашивания.

6. Определение оптимального распределения трибологических свойств поверхностей трения и поверхностного слоя изделия и на этой основе разработка проектов нанесения селективно структурированных износостойких покрытий.

7. Синтез оптимальных проектов по форме и интенсивности изнашивания трущихся поверхностей, обеспечивающих режим равномерного изнашивания.

8. Оптимизация и синтез оптимальных проектов изделия с равномерно распределёнными свойствами по другим критериям оптимизации (равномерная жёсткость конструкции, одинаковая коррозионная стойкость и т.п.).

9. Синтез спектра равнопрочных и равномерно изнашивающихся форм изделия с оптимизированной структурой его материала.

Последним этапом оптимального проектирования является выбор из полученных технически и технологически возможных вариантов наиболее экономичного путем сравнения его долговечности с экономически обоснованным сроком службы. В результате осуществления этой методологии проектирования должен быть получен оптимальный проект идеального изделия, обладающего для данных условий одновременно требуемой прочностью, износостойкостью и экономичностью.

Из изложенного следует, что практическая реализация полученных теоретических результатов требует совершенствования существующих и разработки новых технологий изготовления изделий. Особенно это относится к методам получения дифференцированного распределения свойств инструментального материала, как по объему, так и на трущихся площадках. Следует надеяться, что развитие в указанном направлении методов послойного синтеза изделий-композитов (особенно селективного

лазерного спекания порошков), ионной имплантации поверхностного слоя, избирательного нанесения нанопорошков и композиционных покрытий и др. в ближайшее время позволит решить эту задачу.

В заключение необходимо заметить, что предложенный в данной статье подход к оптимальному проектированию конструкций инструмента применим к любым функционально нагруженным деталям машин, их соединениям, а также к машине в целом. Для изделий со сложной конфигурацией могут отсутствовать теоретические модели для расчета НДС, температур, жесткости, коррозии, износа и других характеристик. Поэтому целесообразно применять численные методы конечных и граничных элементов, реализованные в виде пакетов прикладных программ в «тяжелых» САПР. При этом данные программные продукты должны быть дополнены итерационными циклами выравнивания эксплуатационных свойств во всех частях и зонах изделия в соответствии с изложенными принципами.

Литература.

1. Петрушин С. И. Оптимальное проектирование рабочей части режущих инструментов. – Томск, Изд. ТПУ. – 2008. – 195 с.
2. Петрушин С. И., Сапрыкин А. А., Дуреев В. В. Проектирование и производство изделий из инструментальных композиционных материалов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 205 с
3. Петрушин С. И., Губайдулина Р. Х. Организация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 200 с.
4. Petrushin S. I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials // Applied mechanics and materials issn: 1660-9336. – 2013. – n°. с. 95-100.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЕМ ПОСТРОЕННЫЕ НА БАЗЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА

И.В. Смирнов, к.т.н., доц., А.И. Смирнова, к.т.н., Д.И. Архипкин, инженер

ООО «Сертификационно-диагностический центр «Дельта»

445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Белорусская, 3, тел./факс (8482) 55-62-68

E-mail: ivansmirnov32@gmail.com

Введение

Проведённые в последние годы исследования показывают, что применение способа дуговой сварки металлов в защитных газах с управляемым тепловложением [1] позволяет существенно повысить энергоэффективность технологических процессов сварки, выраженную в сокращении до 50% затрат энергии на образование единицы площади поперечного сечения сварного шва [2,3]. Высоким показателем энергоэффективности отличается и сварочное оборудование, специально разработанное для реализации процесса дуговой сварки с управляемым тепловложением. Установлено, что установки для дуговой сварки с управляемым тепловложением, обеспечивают увеличение коэффициента полезного действия от 2 до 19% по сравнению с традиционным инверторным источником питания [4,5].

В работе [6] установлено, что наиболее востребованными в производстве могут явиться две модификации установок для сварки с управляемым тепловложением:

1. Установки, основанные на применении внешнего коммутационного блока в сочетании с традиционным инверторным источником питания;
2. Установки, построенные на основе двух независимых инверторных источников с половинной номинальной мощностью, соединенных на выходе одним общим проводом.

Максимальную энергоэффективность сварочного процесса и сварочного оборудования способно обеспечить только второе техническое решение. Однако, существующие конструкции таких установок обладают рядом недостатков, в виде низкой универсальности установок и их высокой стоимости. Это ограничивает широкое внедрение энергоэффективной техники и технологий в сварочное производство. Поэтому весьма актуальными являются работы, направленные на расширение универсальности, оптимизации комплектации и стоимости установок для дуговой сварки с управляемым тепловложением.

Основная часть

Мировая практика показывает, что наиболее эффективным способом расширения универсальности и оптимизации стоимости оборудования, является построение оборудования на базе принципов агрегатирования. Применительно к нашему случаю, сварочная установка должна быть разбита на