

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*С.И. Петрушин, д.т.н.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: psi@tpu.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°C 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 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, 3, 4], 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 [5], 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 [2] 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. К настоящему времени имеется ряд результативных решений первой и второй задач [2], в то время как третья задача (совместная оптимизация) имеет только постановку в виде научной проблемы. Теоретической 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 его получения. В работах [3, 4] рассмотрены условия и сочетания материалов, при которых обеспечивается требуемая трещиностойкость слоистых и клиновых композиционных материалов режущей части инструмента. Эти решения позво-

ляют ввести ограничения на инструментальные 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 (НДС), полученного на основе либо теории упругости [2], либо метода конечных элементов [4]. 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 [6]. 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 конструирования 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 работе 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. Кабалдин Ю. Г. Принципы конструирования композиционных и инструментальных материалов с повышенной работоспособностью. - Владивосток.: Изд. института машиноведения и металлургии, 1990. - 58 с.
2. Петрушин С. И. Оптимальное проектирование рабочей части режущих инструментов. – Томск, Изд. ТПУ. – 2008. – 195 с.
3. Ретюнский О.Ю. Исследование прочностных и режущих свойств резцов с композиционными сменными многогранными пластинами. Дисс... канд. техн. наук: 05.03.01 (Рук. – Петрушин С.И.). – Юрга, 2000. - 151 с.
4. Дуреев В. В. Повышение работоспособности составных композиционных сменных многогранных пластин для режущих инструментов. – 05.03.01. (Рук. – Петрушин С. И.) – Дисс... канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 179 с.
5. Петрушин С. И. Техноэкономика. Оптимизация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 139 с.
6. Петрушин С. И. Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов. // Вестник машиностроения. – 2007, №4. – С. 40 – 46.
7. Petrushin S.I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials //Applied Mechanics and Materials Vol.379 (.2013) pp. 95 – 100.

#### **НАГРУЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЗАНИЯ И МОДЕЛИ ОТКЛОНЕНИЙ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ**

*У.С. Путилова\**, к.т.н., доц., *Ю.И. Некрасов\**, д.т.н., проф., *А.А. Ласуков\*\**, к.т.н., доц.

*\*Тюменский государственный нефтегазовый университет  
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (3452)-41-24-65  
E-mail: syncler@mail.ru*

*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)62248  
E-mail: lasukow@rambler.ru*

В процессе точения характерных для авиастроения фасонных деталей, имеющих, как правило, пониженную жесткость, доля их деформаций и отклонений расположения сложных поверхностей вращения (СПВ) деталей даже при относительно высокой жесткости станков с ЧПУ зачастую значительно превышает все остальные деформации и перемещения в ТС вместе взятые. В связи с этим необходимо решить задачу создания комплекса диагностических устройств для определения составляющих силы резания во взаимосвязи с деформациями и отклонениями расположения нагружаемых в процессе точения заготовок и других элементов ТС с целью обеспечения последующего ввода коррекций в процесс обработки на станках с ЧПУ, компенсирующих погрешности обработки, выявленные при диагностике. При этом в соответствии с формируемой моделью компенсирующих коррекций траекторий движения ИРО станков с ЧПУ их ввод должен компенсировать погрешности, связанные с переменными деформациями, отличающимися по величине при точении каждого фасонного конструктивного элемента заготовки [2, 3, 5].

С учетом назначения и функциональных возможностей комплекса элементов диагностической системы в работе реализована конструктивная проработка компоновочных решений в привязке к