

УДК 621.9.08

## Численное моделирование энергосиловых параметров процесса резания

**А.В. Глазунов, О.В. Зарубина**

*Статья посвящена использованию математического моделирования при разработке технологического процесса изготовления детали. Рассмотрены возможности оптимизации геометрии инструментов и параметров процесса резания.*

**Ключевые слова:** режущий инструмент, процесс резания, математическое моделирование, ANSYS, nCode, CATIA v5, корреляция, оптимизация.

## Numerical simulation of cutting process energy-power parameters

**A.V. Glazunov, O.V. Zarubina**

*The paper presents the use of mathematical simulation in the development of the technological process of a part manufacture. Optimization possibilities of tools geometry and cutting process parameters are considered.*

**Keywords:** cutting tool, cutting process, mathematical simulation, ANSYS, nCode, CATIA v5, correlation, optimization.

Будущее диктует свои условия в области технологии. Конкуренция на рынке требует снижения себестоимости изделий, а развитие науки и техники вынуждает к обратному. Также существует проблема оплаты труда высококвалифицированных специалистов вследствие повышения спроса на них, что является неизбежным спутником технологического прогресса. При этом будущее требует массового производства множества сложных с точки зрения технологии изделий, изготовление которых могло показаться когда-то чем-то из области научной фантастики. Таким образом, перед инженерами появляется масса сложных задач, в области разработки технологического процесса изделий в условиях жесткой конкуренции и развития техники. При этом сами современные технологии, несомненно, могут помочь в решении этих задач, упрощая работу инженеров. В работе рассмотрена методика применения элементов математического моделирования в области технологии. В качестве программного базиса использован пакет, реализующий метод конечных элементов, ANSYS, программа для исследования усталостной долговечности nCode, а также система CATIA v5.

Рассмотрим применение численных методов на примере исследования технологического процесса изготовления детали кронштейн (рис. 1) в условиях массового производства. Материал детали АК9ч относится к классу литейных алюминиевых сплавов — силуминов,



**ГЛАЗУНОВ**  
**Артем Витальевич**  
студент  
кафедры «Плазменные  
энергетические установки»



**ЗАРУБИНА**  
**Ольга Васильевна**  
кандидат технических  
наук, доцент  
кафедры «Технологии  
ракетно-космического  
машиностроения»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
e-mail: art-glazunov@mail.ru

которым характерно высокое тепловыделение в зоне резания (высокая пластичность сплава), а также интенсивные нагрузки на режущие кромки инструмента, обусловленные сливным характером стружки.

В условиях массового производства необходимо сокращение времени производственного цикла за счет внедрения в технологический процесс различного рода станочных приспособлений. В данном технологическом процессе для одновременного сверления четырех отверстий в теле детали (см. рис. 1) в качестве приспособления применяется механизм делительный (рис. 2). Использование средств анимации пакета CATIA v5 позволяет увидеть работу приспособления как в основном режиме резания, так и в режиме работы предохранительной ступени муфты, т. е. в режиме заклинивания. Следует отметить, что возможности фотостудии данного пакета позволяют конструктору весьма эффектно представить результаты своей работы.

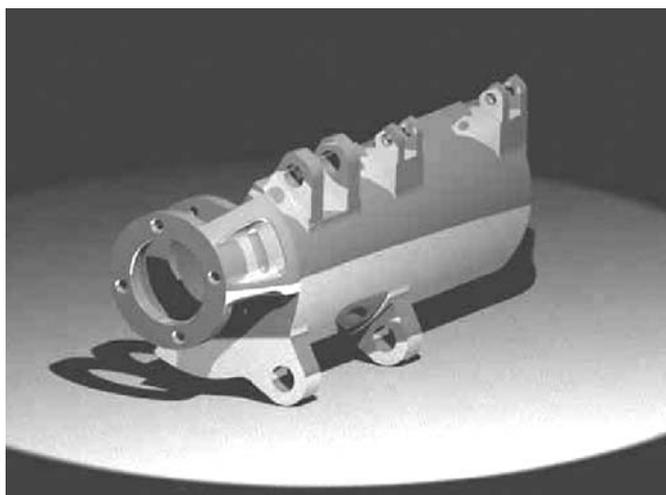


Рис. 1. Кронштейн

Результаты исследования режима резания сверла из быстрорежущей стали Р6М5 (см. рис. 2) приведены ниже. На рисунке 3 изображено распределение эквивалентных напряжений в теле сверла, а по рис. 4 можно проследить за изменением максимального напряжения в зависимости от силы резания  $R$ . Нулевое приближение для режима выполнялось в соответствии с методикой, приведенной в справочнике технолога—машиностроителя [1]. Затем по данной корреляционной зависимости был выбран более интенсивный режим, поскольку, как вид-

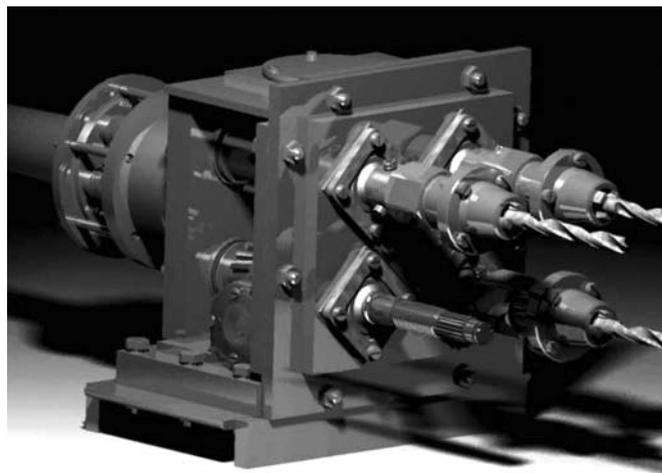


Рис. 2. Механизм делительный

но на рис. 3, велико значение коэффициента запаса по прочности для критических точек.

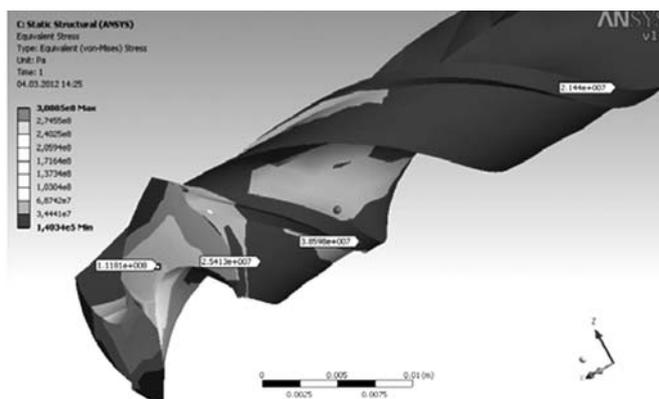


Рис. 3. Напряженное состояние в теле сверла

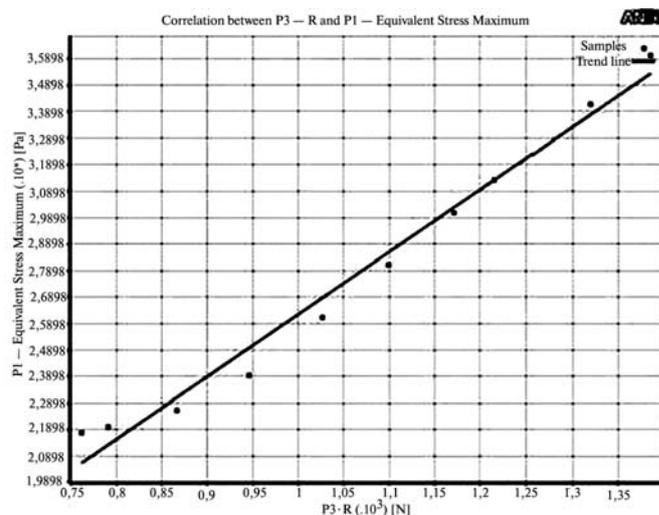


Рис. 4. Зависимость максимальных напряжений от силы резания

На рисунке 5 приведены распределения эквивалентных напряжений и температур вдоль оси сверла (величины нормированы на единицу). На рисунке видно, что на расстоянии нескольких миллиметров от режущей кромки сверла значения напряжений и температур уменьшаются более чем в 10 раз. Таким образом, нагруженной является лишь малая передняя часть сверла, которую можно сделать сменной. Данный прием был использован при проектировании сверла для коротких отверстий, относящегося к классу перовых (рис. 6). Наконечник сверла выполнен из сплава ВК6, при этом для изготовления державки допускается использование более дешевой инструментальной стали 9ХС. Как видно (рис. 7) из распределения напряжений в теле сверла имеются проблемы с коэффициентом запаса по текучести в месте крепления наконечника к державке. В связи с этим

была построена кривая отклика максимальных напряжений в месте крепления на изменение (уменьшение) длины прилегающей части крепления  $\Delta H$  (рис. 8). Видно, что уменьшение длины на 1 мм приводит к увеличению максимального напряжения на десятки мегапаскалей, что, несомненно, является существенным. Использование такого рода зависимостей позволяет провести параметрическую оптимизацию геометрии при проектировании инструмента с точки зрения коэффициента использования материала, являющегося особенно важным в условиях массового производства.

Для наиболее производительной и качественной обработки посадочных мест под подшипники (см. рис. 1) был спроектирован инструмент – головка расточная комбинированная (рис. 9). Режущие пластины выполняются из сплава ВК6, а материала державки – из стали

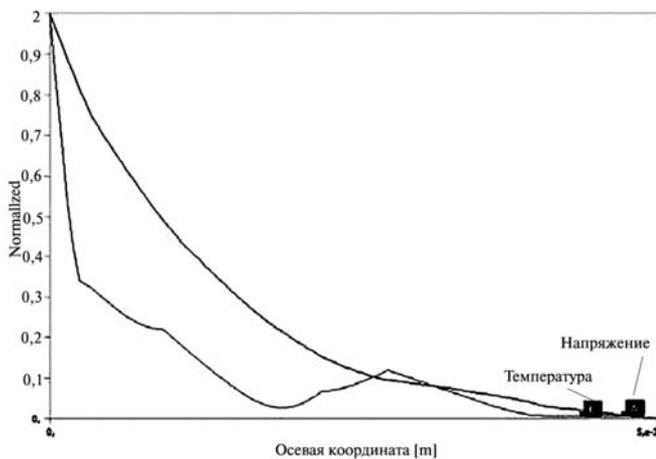


Рис. 5. Распределение напряжений и температур вдоль оси сверла

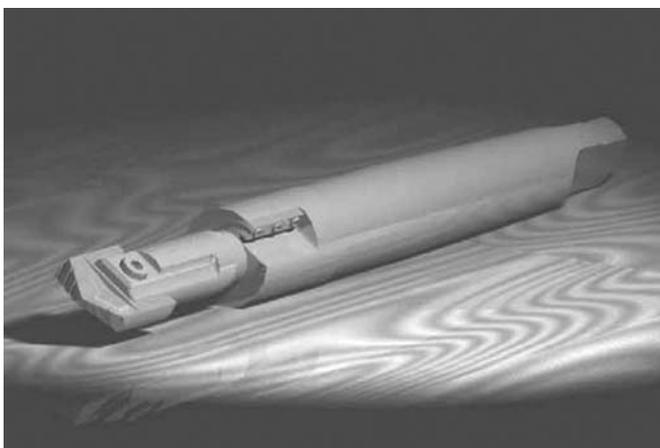


Рис. 6. Сверло перовое

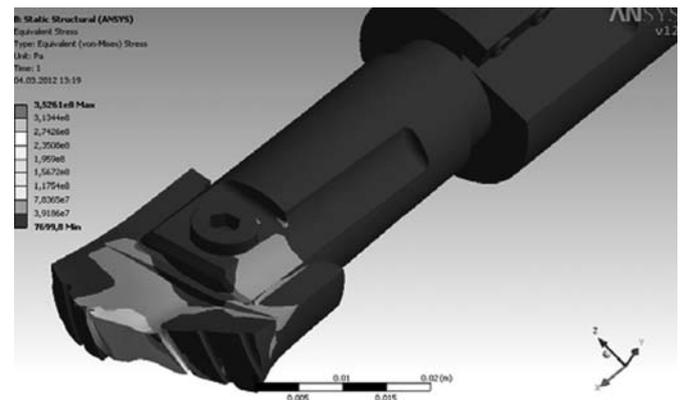


Рис. 7. Распределение напряжений в теле сверла

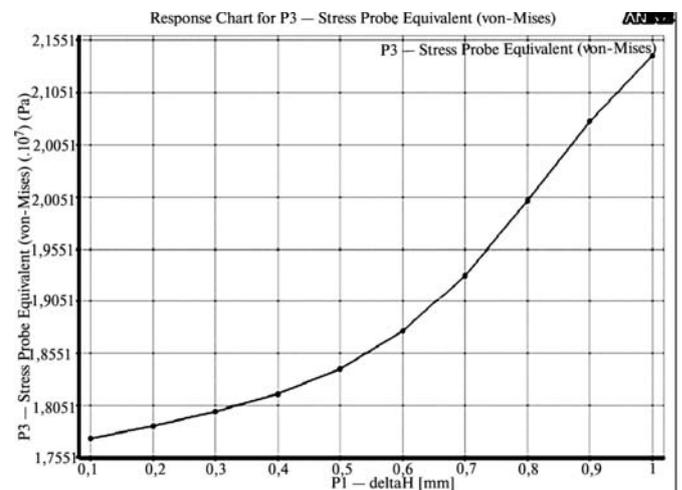


Рис. 8. Зависимость напряжений от степени уменьшения длины державки

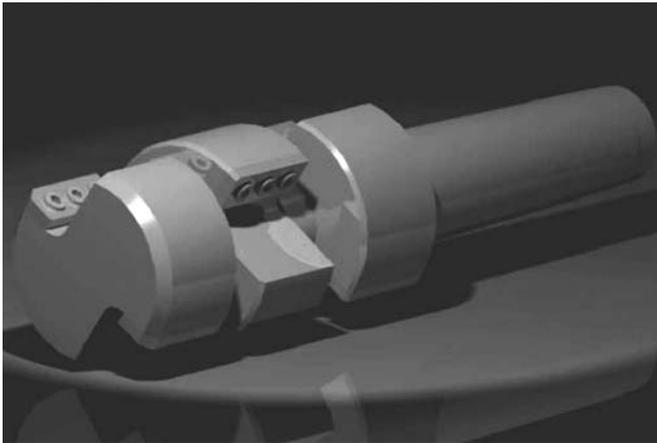


Рис. 9. Головка расточная комбинированная

ХВСГ. В связи с высоким тепловыделением в зоне резания важным представляется исследование распределения температур в теле инструмента (рис. 10), а также картины обтекания инструмента смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) (рис. 11). Из анализа распределения температур в зоне резания можно сделать вывод об обоснованности выбора составной конструкции расточной головки, поскольку заметна локализация высоких температур в весьма узкой области в теле режущей пластины. Также можно провести параметрическую оптимизацию толщины пластины с точки зрения прочности и теплостойкости инструмента. Анализируя картину обтекания, следует отметить, что скорость СОЖ в зоне резания связана в первую очередь с высокой скоростью относительного (а точнее вращательного) движения инструмента и жидкости.

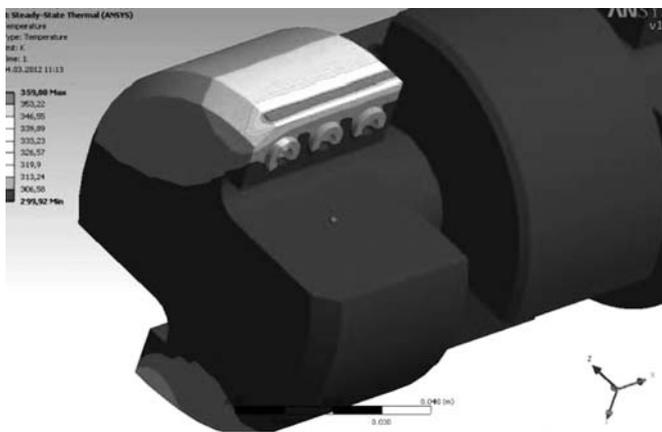


Рис. 10. Распределение температур в теле инструмента

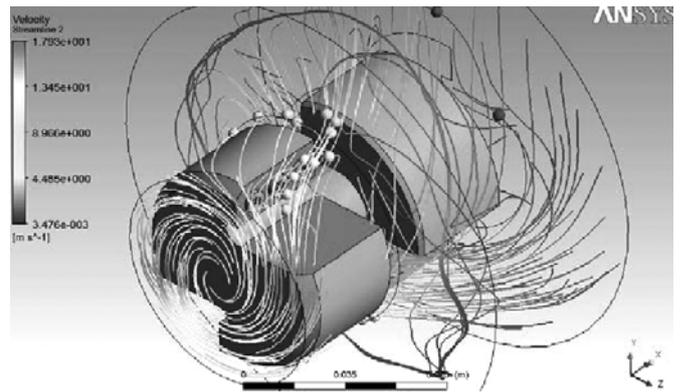


Рис. 11. Схема обтекания инструмента СОЖ

Для обеспечения максимальной эффективности охлаждения инструмента следует рассмотреть зависимость максимальной температуры в теле инструмента от степени предварительной закрутки СОЖ, выраженной в значениях угла  $\beta$  между направлением вектора скорости жидкости и плоскостью, проходящей через ось вращения инструмента. Такая зависимость представлена на рис. 12, на котором видно, что сильная закрутка жидкости, вне зависимости от ее направления, повышает температуру в зоне резания, в то время как более слабая закрутка вызывает небольшое понижение максимальной температуры, увеличивая стойкость инструмента, которая, как известно, обратно пропорциональна четвертой степени температуры. Также полезным на стадии оптимизации конструкции инструмента может быть распределение скоростей жидкости вдоль различных линий тока (рис. 13).

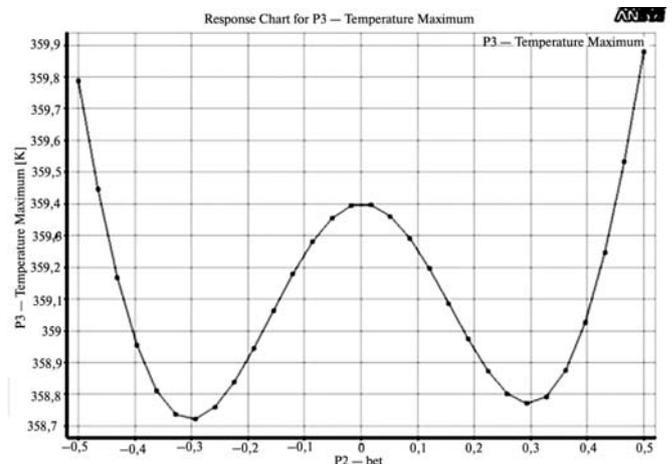


Рис. 12. Влияние степени предварительной закрутки на температуру инструмента

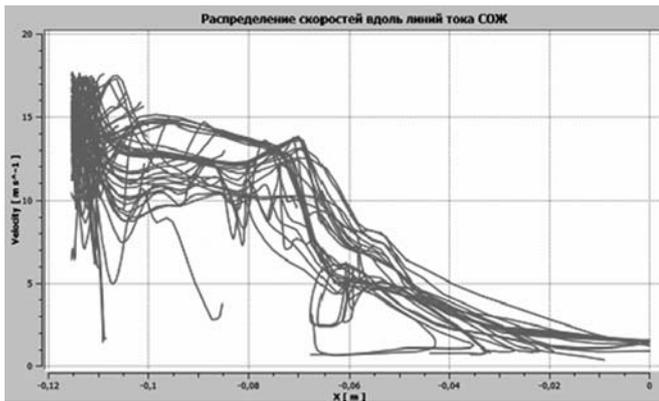


Рис. 13. Распределение скоростей вдоль линий тока жидкости

Для фрезерования торцов и выточек в теле детали (см. рис. 1) был сконструирован инструмент фреза составная (рис. 14). Режущие пластины выполнены из твердого сплава ВК6, а державка изготовлена из инструментальной низколегированной стали ХВГ.

Используя возможности численного эксперимента, можно провести исследование влияния усталостных нагрузок на стойкость режущего инструмента. Результаты расчета представлены на рис. 15. Видно, что минимальное число циклов нагружения (оборотов инструмента) фреза выдерживает вблизи установочного конуса, а также в зоне резкого изменения геометрии под режущей пластиной. Можно провести цикл экспериментов и выявить корреляцию силы резания и числа циклов до разрушения в рассмотренных зонах (рис. 16). Можно убедиться, что при данном выборе материалов и геометрии влияние циклических нагрузок на ресурс инструмента весьма мало.

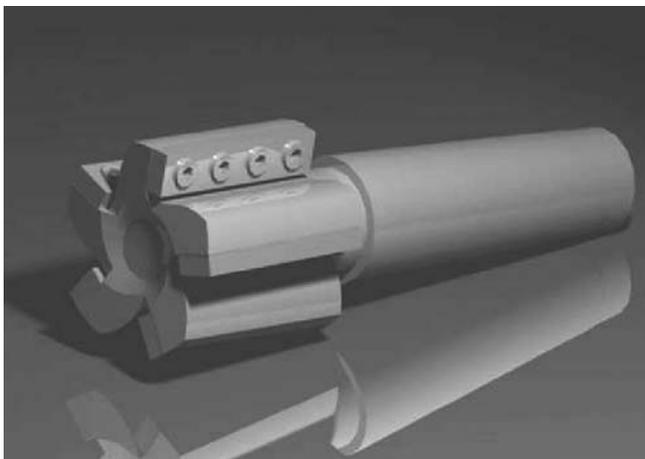


Рис. 14. Фреза составная

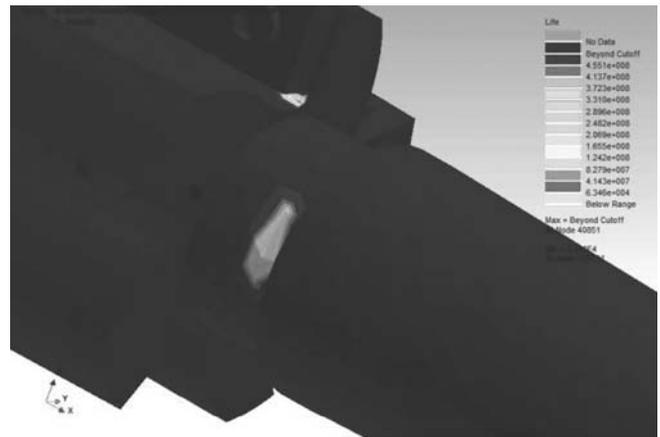


Рис. 15. Распределение числа циклов до разрушения в теле инструмента

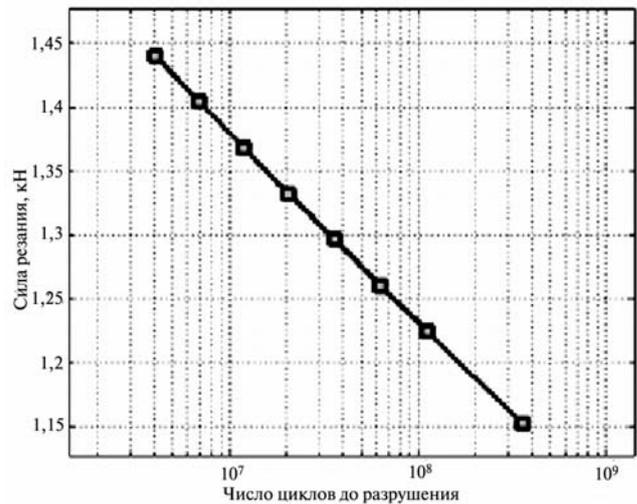


Рис. 16. Усталостная кривая фрезы

## Выводы

1. Использование математического моделирования позволяет оптимизировать конструкции инструментов и оснастки, подобрать параметры режимов резания, что особенно важно в массовом производстве.
2. Использование возможностей численного эксперимента позволяет также существенно экономить на опытном производстве.

## Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. В 2 т. М.: Машиностроение-1, 1985.

Статья поступила в редакцию 02.05.2012