

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТОЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

М.Н. Боголюбова, А.И. Афонасов, Д.Э. Шавдуров, В.Н. Козлов  
Научный руководитель: доцент, к.т.н. Боголюбова М.Н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический институт  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [shavdurov@yandex.ru](mailto:shavdurov@yandex.ru)

Жаропрочные сплавы на никелевой основе такие, как ЭИ 698 широко применяются при изготовлении деталей машин и приборов, работающих при высоких температурах порядка 700-950 °С. Сплав ЭИ 698 обладает высокой удельной прочностью, антикоррозионной стойкостью, малой пластичностью, малой теплопроводностью, склонностью к налипанию и наклепу и др., что обуславливает повышенную трудоемкость и специфику его обработки.

Вместе с тем, проведенные испытания показывают, что характеристики стойкости инструмента не удовлетворяют современным требованиям назначения режимов резания при производстве деталей из жаропрочных сплавов и приводят к необходимости более тщательного изучения этого вопроса [1,2].

Задачей исследования является определение параметров режимов резания, оптимизирующих значения определенных критериев эффективности таких, как производительность, себестоимость, стойкость инструмента при различных вариантах исходных технологических параметров.

Методика исследования заключается в математическом моделировании, разработке программно-математического обеспечения ЭВМ, использовании численных методов решения задачи оптимизации процесса обработки деталей из жаропрочных сплавов типа ЭИ 698 и экспериментальной проверке с целью идентификации полученных результатов исследования в производственных условиях.

На Рис. 1 приведены графические зависимости влияния скорости резания  $V$  на основные характеристики процесса резания  $P=f(v)$ ,  $T=f(v)$ ,  $C=f(v)$ .

Анализ показал, что в широком диапазоне изменения скорости резания  $V$  существуют экстремальные значения – минимум себестоимости ( $C$ ) и максимум производительности ( $P$ ). При этом влияние скорости резания на эти показатели неоднозначно. Скорость  $V$  существенно отличается для их экстремальных значений  $V_{min}$  и  $V_{max}$ . Для оптимизации режима резания необходимо исследовать интервал изменения скорости резания в пределах от  $V_{Cmin}$  до  $V_{Pmax}$ .

Была разработана математическая модель и алгоритм оптимизации, отражающие взаимосвязь параметров режимов резания с такими критериями качества, как производительность, себестоимость и др.; формализованное представление исходной и выходной информации с визуальным отображением результатов исследования; программное обеспечение в среде Delphi для решения поставленных задач [4]. Для получения оптимальных значений критериев эффективности  $P$ ,  $T$ ,  $C$  используется «метод координатного спуска».

Математическая модель оптимизации включает следующие компоненты: информационная модель; входные, выходные, внутренние параметры; варьируемые переменные, которые выделяются из числа внутренних параметров; критерии оптимизации; целевая функция; система ограничений.

Выходные данные включают: результаты расчета критериев  $P$ ,  $T$ ,  $C$ , таблицы зависимостей  $P=f(v)$ ,  $T=f(v)$ ,  $C=f(v)$ , графические зависимости в соответствии с расчетными данными таблицы.

Исследуемые математические модели представлены в виде набора многопараметрических нелинейных зависимостей и функций. Эти функции хранятся в базе данных и используются для формирования модели оптимизации и представления их в требуемом формате. Для нахождения оптимального значения критериев эффективности используется «метод координатного спуска» для многомерных функций и эвристические алгоритмы. Ограничениями являются допустимые значения параметров.

Оптимизация осуществляется за счет варьирования этих параметров в заданных граничных диапазонах. Оптимальное решение выдается в виде уточненных значений параметров, при которых целевая функция принимает экстремальное значение  $F_{min}$  (или  $F_{max}$ ) для заданного критерия эффективности. Зависимости критериев  $P$ ,  $T$ ,  $C$  от параметров режимов резания рассчитаны по формулам Макарова А.Д. [3].

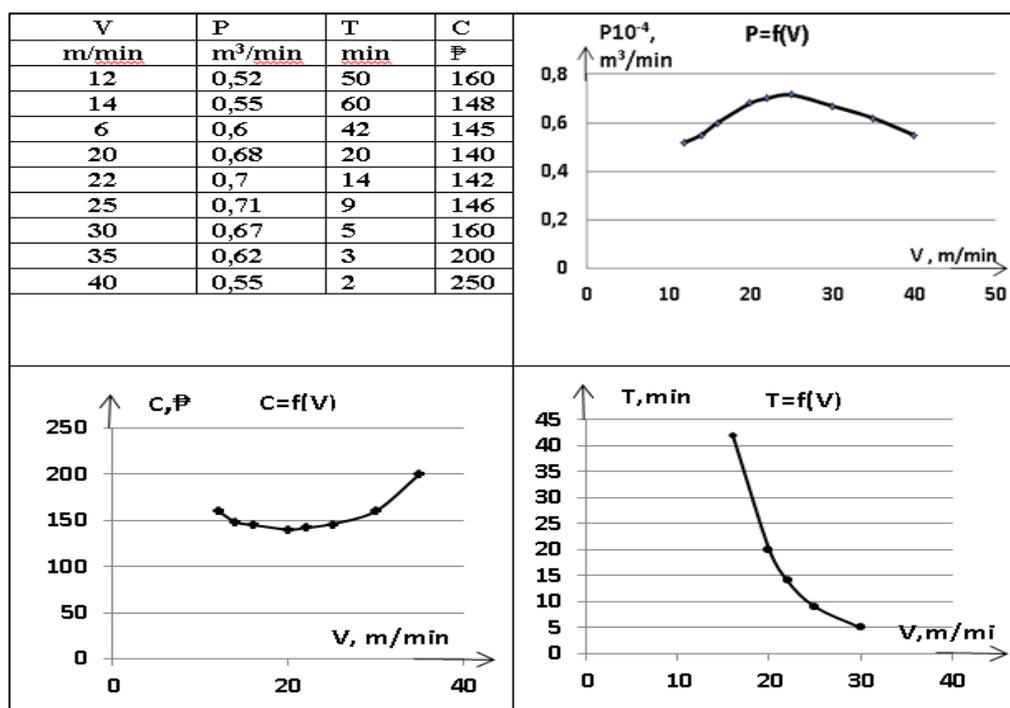


Рис. 1. Влияние скорости резания на основные характеристики процесса резания при точении деталей из сплава ЭИ 698 при  $s = 0.26$  мм/об.

В данной работе проведено исследование влияния механических свойств жаропрочного сплава ЭИ 698 на характеристики режима токарной обработки. С целью снижения трудоемкости и сокращения дорогостоящих натуральных испытаний выполнено прогнозирование с помощью математического моделирования и ЭВМ процесса резания с последующей верификацией в виде эксперимента в лабораторных и производственных условиях.

Разработан графический интерфейс численного моделирования оптимизации параметров процесса резания токарной обработки, который позволяет на основе определенного диапазона исходных параметров прогнозировать режимы резания в соответствии с заданными критериями эффективности.

Данная модель может быть применена для других видов обработки: фрезерования, сверления и пр. с некоторыми изменениями и дополнениями, обусловленными спецификой вида обработки.

На основании проведенных исследований выработаны рекомендации по оптимизации процесса резания с учетом ограничений, накладываемых на параметры системы резания в соответствии с определенными критериями эффективности.

### Список литературы

1. Верещака А.С., Анিকেев А.И., Дачева А.В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов // Технология машиностроения. – 2010 – № 3. – С. 17-22.
2. Afonarov A.I., Lasukov A.A. Elementary Chip in Metal Cutting // Vestnik Mashinostrjeniya. – 2013. – № 12. – P. 69-72.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания DJVU. – М.: Машиностроение, 2011. – 278 с.
4. Bogoljubova M. N., Sumtsova O. V., Doschinsky D. V. Development of Graphical Interface for Determination of Optimal Cutting Parameters in Turning Operations // Key Engineering Materials: Scientific Journal. – 2016. – Vol. 685.