

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

В.А. Рогов, А.В. Фомин

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Рассмотрены исследования влияния режимов резания (скорости резания, подачи и глубины резания) на стойкость режущего инструмента при лезвийной обработке хладостойкой стали 10ГНБ. На основании исследований получены многофакторные модели стойкости режущего инструмента. По полученным результатам разработана методика и система автоматизированного расчета REZMET для определения рациональных режимов резания хладостойких сталей.

Ключевые слова: хладостойкие стали, лезвийная обработка, стойкость режущего инструмента, математическое моделирование, автоматизация.

Развитие новых отраслей науки и техники, а также освоение новых конструкций машин и механизмов, работающих в тяжелых климатических условиях, находятся в прямой зависимости от исследования обрабатываемости хладостойких, жаропрочных, нержавеющей и других материалов с особыми физико-техническими свойствами.

Добыча нефти на шельфе арктических морей (газоконденсатные и нефтяные запасы Штокмановского, Приразломного и других месторождений Баренцева моря) характеризуется сложной ледовой обстановкой, низкотемпературными условиями эксплуатации (до $-40 \div -50$ °С), глубоководным (до 360 м) расположением трубопроводов высокого давления и их протяженностью (до 546 км). Поэтому для сооружения морских буровых платформ, резервуаров и нефтегазопроводов необходимо, чтобы стали обладали достаточной хладостойкостью. В то же время хладостойкие стали обладают особыми физико-химическими и механическими свойствами, обуславливающими низкую обрабатываемость резанием.

В настоящее время на машиностроительных предприятиях г. Северодвинска ОАО «ЦС „Звездочка“» и ОАО «ПО „Севмаш“» для производства конструкций и механизмов, работающих при высоких отрицательных температурах, используется хладостойкая сталь 10ГНБ.

Несмотря на множество проводимых исследований в области обработки различных конструкционных материалов, в современном производстве не существует универсальных математических моделей, позволяющих устанавливать оптимальные режимы резания на стадии проектирования технологического процесса при обработке материалов всех видов, а в технической литературе практически нет данных по обрабатываемости толстолистовой хладостойкой стали 10ГНБ для океанотехники и судостроения. В связи с этим исследование обрабатываемости хладостойких сталей и на основании экспериментальных исследований разра-

ботка рекомендаций, позволяющих устанавливать оптимальные режимы резания на стадии проектирования технологического процесса с использованием САПР, является актуальной задачей.

Целью проводимого исследования являлось определение стойкости сверл, метчиков, концевых и торцовых фрез при обработке хладостойкой стали 10ГНБ и на основании исследований — получение многофакторных математических моделей для определения стойкости режущего инструмента и разработка системы автоматизированного расчета рациональных режимов резания на стадии проектирования технологического процесса.

Условия испытаний. При проведении исследований стойкости режущего инструмента использовался вертикально-фрезерный станок модели 6Т12 и вертикально-сверлильный станок модели 2Н135. В качестве режущих инструментов использовались:

— торцовая фреза ГОСТ 26595-85 диаметром 125 мм, оснащенная режущими пластинами Т5К10. В целях экономии обрабатываемого и инструментального материалов фреза использовалась в качестве однозубой;

— концевая фреза ГОСТ 17026-71 из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 20 мм;

— сверла спиральные с коническим хвостовиком ГОСТ 12121-77 диаметром 12 мм;

— метчики машинные ГОСТ 3266-81 М12 × 1,75.

В качестве обрабатываемого материала была использована толстолистовая хладостойкая сталь 10ГНБ. Резание осуществлялось без использования смазочно-охлаждающих технологических сред.

Для проведения эксперимента использовался двухуровневый метод планирования эксперимента по формуле ПФЭ 2^3 и ПФЭ 2^2 [1].

Основные факторы (параметры процессов резания) имели значения:

— торцовое фрезерование: скорость резания $V = 98—247$ м/мин; глубина резания $t = 1—3$ мм; подача на зуб $S_z = 0,16—0,24$ мм/зуб;

— концевое фрезерование: скорость резания $V = 39—78$ м/мин; глубина резания $t = 3—5$ мм; подача на зуб $S_z = 0,04—0,1$ мм/зуб;

— сверление: скорость резания $V = 16,6—28,5$ об/зуб; подача $S = 0,08—0,15$ мм/об;

— нарезание резьбы метчиками: $V = 4—5,7$ м/мин.

Для определения стойкости использовалась методика, предложенная в работе [3]. Результаты экспериментальных исследований стойкости режущего инструмента представлены в табл. 1—4.

Таблица 1

Результаты исследований стойкости режущего инструмента при нарезании резьбы в хладостойкой стали 10ГНБ

V , м/мин	Вид отверстия	Стойкость, T_{cp} (мин)
4	Сквозное	22
4	Глухое	16
5,7	Сквозное	15,4
5,7	Глухое	11,2

Таблица 2

Результаты исследований стойкости режущего инструмента, при торцовом фрезеровании стали 10ГНБ

Кодированные переменные			V, м/мин	t, мм	S _z , мм/зуб	Стойкость, T _{ср} , мин
x ₁	x ₂	x ₃				
-	-	-	98	1	0,16	142,5
+	-	-	247	1	0,16	30
-	+	-	98	3	0,16	105
+	+	-	247	3	0,16	24
-	-	+	98	1	0,24	140
+	-	+	247	1	0,24	24
-	+	+	98	3	0,24	90
+	+	+	247	3	0,24	12

Таблица 3

Результаты исследований стойкости режущего инструмента при сверлении хладостойкой стали 10ГНБ

V, об/мин	S, мм/об	Стойкость, T _{ср} (мин)
16,6	0,08	25,8
16,6	0,15	18,2
28,5	0,08	15
28,5	0,15	9,4

Таблица 4

Результаты исследований стойкости режущего инструмента при концевом фрезеровании стали 10ГНБ

Кодированные переменные			V, м/мин	S _z , мм/зуб	t, мм	Стойкость, T _{ср} (мин)
x ₁	x ₂	x ₃				
-	-	-	39	0,04	3	120
+	-	-	78	0,04	3	60
-	+	-	39	0,1	3	96,9
+	+	-	78	0,1	3	48,5
-	-	+	39	0,04	5	109,2
+	-	+	78	0,04	5	54,6
-	+	+	39	0,1	5	86,2
+	+	+	78	0,1	5	43,1

На основании результатов экспериментальных исследований по методике [1] были получены многофакторные математические модели стойкости режущего инструмента:

— многофакторная модель для определения стойкости при сверлении хладостойкой стали 10ГНБ:

$$T_{св} = 1260 \cdot V^{-1,9 - 0,352 \ln(S)} \cdot S^{0,4},$$

где V — скорость резания, об/мин; S — подача, мм/об; T_{св} — стойкость сверла, мин;

— многофакторная модель для определения стойкости при нарезании резьбы в хладостойкой стали 10ГНБ:

$$T_{м} = 89,3 \cdot V^{-1,014 + 0,09 \ln(k_{отв})} \cdot k^{-1,14},$$

где k_{отв} — коэффициент, учитывающий тип отверстия; k_{отв} = 1 при сквозном отверстии, k_{отв} = 1,375 при глухом; V — скорость резания, м/мин; T_м — стойкость метчиков, мин;

— многофакторная модель для определения стойкости при торцовом фрезеровании хладостойкой стали 10ГНБ:

$$T_{т.ф} = 3,11 \cdot 10^5 \cdot V^{-1,8 - 0,084 \ln(t)} \cdot t^{-1,08 - 0,7 \ln(S_z)} \cdot S_z^{-0,32},$$

где V — скорость резания, м/мин; t — глубина резания, мм; S_z — подача на зуб, мм/зуб; $T_{т.ф}$ — стойкость торцовой фрезы, мин;

— многофакторная модель для определения стойкости при концевом фрезеровании хладостойкой стали 10ГНБ:

$$T_{к.ф} = 2595 \cdot V^{-1-0,01 \ln(S_z)} \cdot t^{-0,14-0,014 \ln(V)} \cdot S_z^{-0,21},$$

где V — скорость резания, м/мин; t — глубина резания, мм; S_z — подача на зуб, мм/зуб; $T_{к.ф}$ — стойкость концевой фрезы, мин.

Проведенный сравнительный анализ полученных математических моделей с результатами экспериментальных исследований показал, что погрешность расчета по моделям составляет 5—10%. На основании этого можно сделать вывод: многофакторные математические модели вполне адекватны и могут быть использованы для определения стойкости режущего инструмента при сверлении, нарезании резьбы метчиками, концевом и торцовом фрезеровании хладостойких сталей.

Используя результаты проведенных экспериментальных исследований и полученные многофакторные математические модели с целью решения задач установления рациональных режимов резания при лезвийной обработке хладостойкой стали 10ГНБ на стадии проектирования технологического процесса, разработан методика и система автоматизированного расчета REZMET.

Данная система автоматизированного расчета предназначена для получения технологических рекомендаций, которые состоят из самостоятельных разделов по основным видам механической обработки (сверление, нарезание резьбы метчиками, торцового и концевого фрезерования) заготовок из хладостойкой стали 10ГНБ.

Блок-схема функционирования разработанной автоматизированной системы REZMET представлена на рис. 1. В соответствии с этой схемой работа в данной программе осуществляется следующим образом:

- 1) выбирается вид механической обработки (сверление, нарезание резьбы метчиками, торцовое или концевое фрезерование);
- 2) задаются исходные параметры выбранной механической обработки:
 - размеры обрабатываемой поверхности (диаметр и глубина отверстия, размер и длина резьбы, ширина, глубина фрезерования, подача);
 - условия обработки (материал режущего инструмента, вид и состояние заготовки, используемая СОТС);
 - необходимая стойкость режущего инструмента;
- 3) на основании выбранных параметров обработки определяются поправочные коэффициенты;

4) формируются таблицы оптимальных режимов резания для получения необходимой стойкости инструмента, с рекомендациями на выполнение выбранного вида обработки;

5) выбирается режущий инструмент, необходимый для выполнения оптимальной обработки.

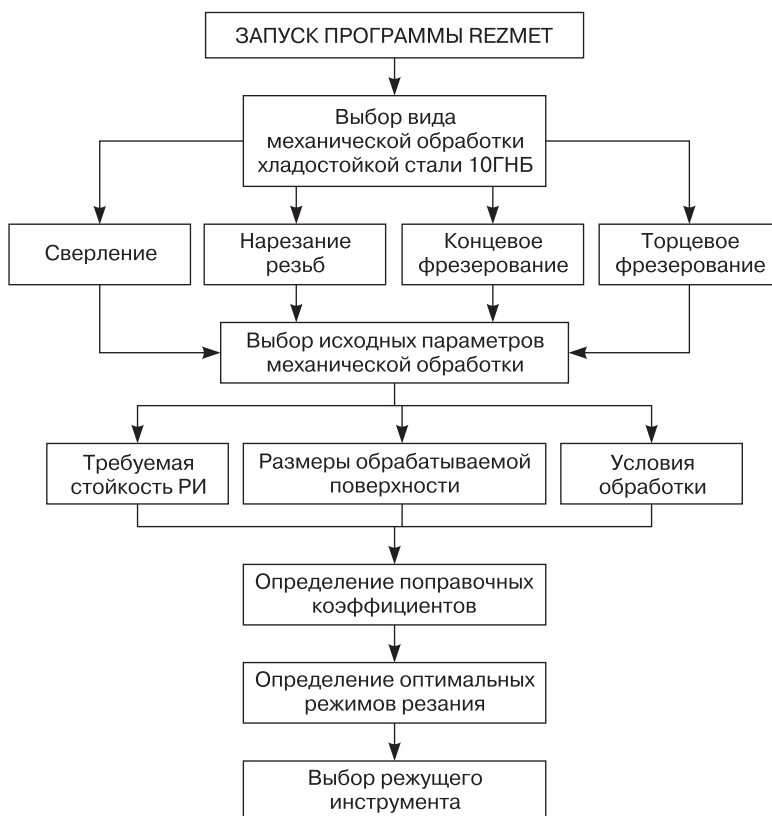


Рис. 1. Блок-схема функционирования автоматизированной системы REZMET

Результаты расчетов, получаемые с помощью автоматизированной системы REZMET, выводятся в табличной форме на экран дисплея. Данная система создана в среде Delphi 7 и работает в операционной системе Windows.

Автоматизированная система снабжена широким комплексом пояснений и указаний, существенно облегчающих возможность ее практического использования даже неквалифицированным пользователем. Пример работы с разработанной системой REZMET представлен на рис. 2.

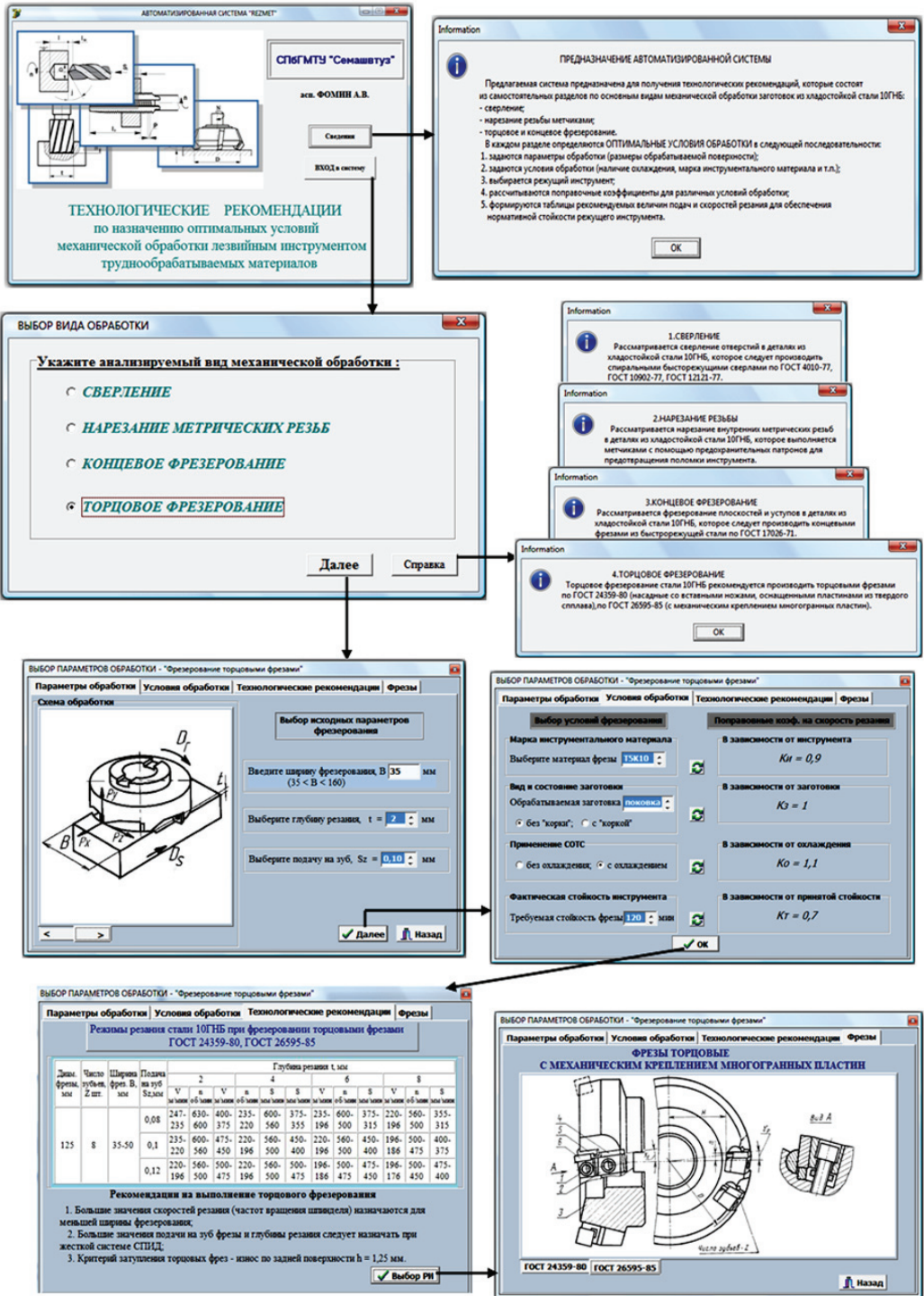


Рис. 2. Пример работы автоматизированной системы расчета REZMET

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Проведенные экспериментальные и аналитические исследования позволили получить и использовать в расчетах и рекомендациях новые многофакторные

математические модели в области резания хладостойких сталей, позволяющие определять стойкость режущего инструмента при сверлении, нарезании резьбы метчиками, концевом и торцовом фрезеровании в зависимости от режимов резания.

2. В результате самостоятельно проведенного теоретического анализа, экспериментальных исследований и математического моделирования разработана научно обоснованная автоматизированная система REZMET, которая предназначена для определения рациональных режимов резания на стадии проектирования технологического процесса, необходимых для обеспечения заданной стойкости режущего инструмента при сверлении, нарезании резьбы метчиками, концевом и торцовом фрезеровании хладостойких сталей; получения технологических рекомендаций по основным видам механической обработки (сверление, нарезание резьбы метчиками, торцового и концевого фрезерования) заготовок из хладостойкой стали 10ГНБ.

3. Разработанная автоматизированная система REZMET позволяет сократить время на проектирование отдельных этапов технологического процесса, которое затрачивается при выборе и расчетах режимов резания. Это дает возможность использовать данную автоматизированную систему на машиностроительных предприятиях при технологической подготовке производства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Грачев Ю.П.* Математические методы планирования эксперимента. — М.: Машиностроение, 1979.
- [2] *Культин Н.Б.* Основы программирования в Delphi 7. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- [3] *Малыгин В.И., Светлаков Г.Б.* Косвенный метод контроля текущего износа инструмента по градиенту термо-ЭДС // *Технология судостроения*. — 1991. — № 1. — С. 39—40.
- [4] *Новик Ф.С., Арсов Я.Б.* Оптимизация процессов технологии обработки металлов методами планирования эксперимента. — М.: Машиностроение; Техника, 1980.

INCREASE OF EFFICIENCY CUTTING MACHINING OF COLD-RESISTANT STEELS BY AUTOMATIC CALCULATION OF THE RATIONAL CUTTING MODES

V.A. Rogov, A.V. Fomin

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Researches of influence of cutting parameters (speed of cutting, cutter feed and cutting depth) on cutting power are considered at edge cutting machining of a cold-resistant steel 10GNB. On the basis of researches multifactorial models of firmness of the cutting tool are received. By the received results REZMET the technique and system of the automated calculation is developed for definition of optimum cutting parameters of cold-resistant steels.

Key words: cold resistant steels, edge cutting machining, cutting power, mathematical modelling, automation.