

DOI: 10.12737/22824

Пчёлкин В.М., аспирант,
Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ПРИ ТОЧЕНИИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКОЙ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ*

pvm0106@mail.ru

Представлена методика разработки эмпирических моделей износостойкости твердосплавных пластин различных марок при точении коррозионно-стойкой жаропрочной стали 08X18H10T. Эксперимент проводился в производственных условиях с применением действующего промышленного оборудования, технологической оснастки и инструмента. В качестве обрабатываемого изделия использовался тройник – соединительная деталь трубопроводов. Особенностью проведения эксперимента являлся прерывистый характер резания с ударными нагрузками. Для разработки моделей использовалось планирование экстремальных экспериментов второго порядка методом ротатбельного планирования. В качестве исследуемых технологических параметров приняты: подача режущего инструмента и скорость резания. Выявлен характер износа, величина стойкости разных марок твердосплавных пластин при одинаковых технологических режимах, установлено влияние исследуемых технологических режимов точения на процессы износа. Разработанные эмпирические модели позволяют обоснованно назначать технологические параметры, прогнозировать значение стойкости инструмента, проводить оптимизацию технологических параметров для обеспечения заданной стойкости по критерию максимальной производительности.

Ключевые слова: эмпирическая модель износостойкости, тройники штампованные переходные, точение коррозионно-стойкой жаропрочной стали, стойкость твёрдосплавного инструмента, оптимизация режимов резания, ротатбельное планирование эксперимента.

Введение. Основной тенденцией развития машиностроения является повышение требований к эксплуатационным характеристикам выпускаемых изделий, что приводит, как правило, к применению материалов с высокими прочностными характеристиками, относящихся к классу труднообрабатываемых материалов. Основной проблемой, возникающей при механической обработке труднообрабатываемых материалов, таких как нержавеющие и коррозионно-стойкие жаропрочные стали, является высокая температура резания и интенсивный износ режущего инструмента [1]. Поэтому повышение периода стойкости металлорежущего инструмента за счет применения эмпирических моделей и оптимизации технологически режимов является важной научной задачей.

Коррозионно-стойкая жаропрочная сталь 08X18H10T широко применяется для изготовления сварной аппаратуры, теплообменников, труб и других деталей, работающих в средах повышенной агрессивности [2]. Данный класс сталей по своим физико-механическим свойствам относится к труднообрабатываемым с технологической точки зрения и вызывает интенсивный износ материала режущей части инструмента [3].

Тройники из коррозионно-стойкой жаропрочной стали 08X18H10T изготавливают по требованиям ОСТ 24.125.16-89 и применяют для монтажа на трубопроводах АЭС. Тройник –

соединительная деталь трубопровода, предназначенная для разветвления и изменения направления потока среды основной магистрали трубопровода. Диапазон рабочего давления составляет 3,92÷19,62 МПа, температура среды – 55÷360 °С [4]. Из-за сложных условий эксплуатации в агрессивной среде тройники выполняют методом штамповки, что исключает применение сварных швов внутри детали, обеспечивает расчетную толщину стенки и стойкость под действием эксплуатационных нагрузок на протяжении всего срока службы.

С технологической точки зрения конструкция тройника (рис. 1) представляет сложную деталь для обработки, так как заготовка имеет призматический вид с габаритными размерами 134×93 мм. В процессе обработки тройника периодически возникают ударные нагрузки, связанные с точением прямоугольного сечения заготовки при формировании цилиндрического сечения магистрали и горловины тройника, что в совокупности с труднообрабатываемостью материала вызывает быстрый износ инструмента. Для снижения износа инструмента в производственных условиях назначают щадящие режимы резания, что приводит к снижению производительности и повышению себестоимости за счет увеличения временных затрат на обработку.

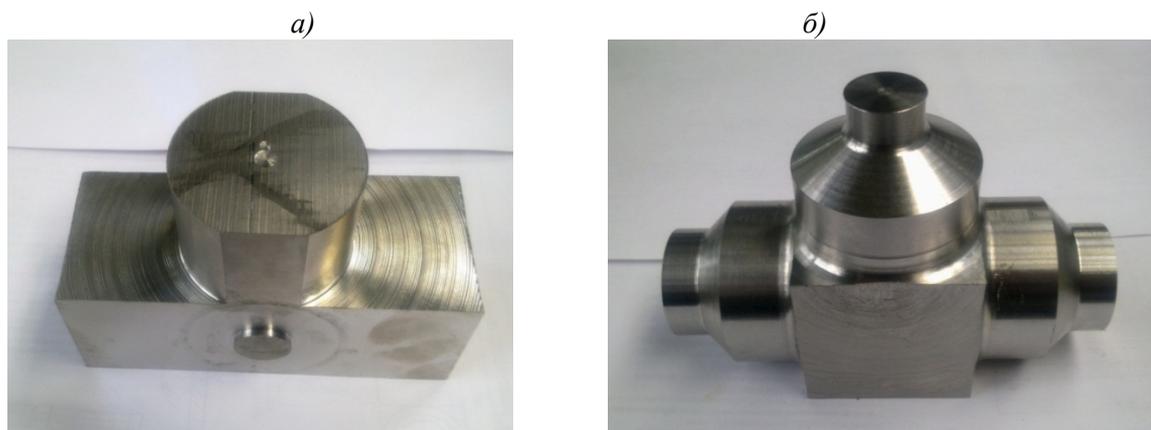


Рис. 1. Тройник по ОСТ24.125.16-89: а – заготовка; б – деталь после операции точения

Методика. Для разработки эмпирических моделей использовалась методика планирования эксперимента планирование экстремальных экспериментов второго порядка методом ротационного планирования [5].

Основная часть. Эксперимент проводился в производственных условиях на ОАО «Ракицкий Арматурный Завод» с использованием действующего оборудования, инструмента и технологической оснастки.

В качестве основного оборудования использовался токарный обрабатывающий центр для тяжелых условий обработки модели PUMA480LM. Данное оборудование полностью отвечает всем требованиям, предъявляемым к проведению эксперимента. Станок оснащен системой управления Fanuc 21i-TB, позволяющей программировать циклы машинной обработки, выполнять программирование и симуляцию маршрута. Использование данной системы позволяет повысить эксплуатационную гибкость обрабатывающих центров, что необходимо для проведения многофакторного эксперимента. Станок имеет возможность внешней подачи СОЖ в зону резания, а также подачу СОЖ через внутренние каналы в инструменте.

В качестве режущего инструмента использовался токарный резец со сменной многогранной пластиной из твердого сплава, состоящий из державки A25R-DWLNR08 и пластины (рис. 2). Применялись два типа твердосплавных пластин с покрытием, полученным разными технологическими способами:

- WNMG080408-ММКММ253 с покрытием CVD (Chemical Vapor Deposition), полученным химическим парофазным осаждением [6]. КММ253 – сплав с передовой технологией нанесения ультра-мелкозернистого покрытия на прочную градиентную основу, область применения – получистовая обработка нержавеющей сталей на высоких скоростях и высоких подачах, выдерживает обработку с большой глубиной резания [7].

- WNMG080408-ММКМГ203 с покрытием PVD (Physical Vapor Deposition), полученным напылением конденсацией из паровой (газовой) фазы [8].

Для качественного и бесперебойного отвода стружки из зоны резания, а также для ее эффективного ломания, был выбран стружколом геометрии ММ [9]. Специальный дизайн стружколомающей геометрии позволяет сохранить высокую износостойкость в сочетании с острой кромкой, что позволяет эффективно избегать налипания металла на кромку инструмента, применяется для получистовой обработки материалов.



Рис. 2. Внешний вид твердосплавной пластины

Для закрепления инструмента была использована базовая револьверная головка станка DOOSAN модели PUMA480LM с 12 инструментальными позициями для закрепления инструмента. В качестве станочного приспособления для закрепления заготовки был выбран индексный патрон модели AXNW460 N105. Данный патрон применяется для автоматизированной обработки деталей с ортогональными осями или с осями под 45°, 60° или 120°, высокопродуктивен для обработки изделий типа корпус вентиля, крестовин и фитингов. Модификация AXN включает в себя автоматический индексный патрон с гидравлическим зажимом и индексированием [10].

В качестве измерительного инструмента применялся ручной микроскоп TWNU-80. Износ измерялся по задней поверхности, критическое значение принято – 0,3 мм. Замер износа проводился после каждого прохода [11].

При планировании эксперимента принят план второго порядка по схеме ротатбельного планирования, при отсутствии информации об ориентации целевой функции этот план наиболее предпочтительный [12]. В качестве исследу-

емых технологических параметров приняты подача режущего инструмента и скорость резания. Уровни и интервалы варьирования факторов, матрица эксперимента представлены в таблицах 1, 2 [13].

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

№	Факторы	Кодовое обозначение	Уровни факторов					Интервал варьирования
			Звездный -1,414	Нижний -1	Основной 0	Верхний +1	Звездный +1,414	
1	Скорость резания v , м/мин	x_1	18,00	30,00	60,00	90,00	102,00	30
2	Подача f , мм/об	x_2	0,04	0,06	0,11	0,16	0,18	0,05

Таблица 2

План эксперимента и результаты опытов

Содержание плана	№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	T_1 , мин.	T_2 , мин.
Опыты ядра 2^2	1	+	+	+	+	+	+	4,54	9,57
	2	+	-	+	-	+	+	9,7	38,41
	3	+	+	-	-	+	+	44,04	40,67
	4	+	-	-	+	+	+	62,18	153,11
Опыты в "звездных" точках	5	+	1,414	0	0	2	0	13	4,99
	6	+	-1,414	0	0	2	0	97,67	152,26
	7	+	0	1,414	0	0	2	12,76	6,75
	8	+	0	-1,414	0	0	2	57,42	71,91
Опыты в центре плана	9	+	0	0	0	0	0	19,07	29,36
	10	+	0	0	0	0	0	22,69	33,28
	11	+	0	0	0	0	0	20,88	29,36
	12	+	0	0	0	0	0	20,2	29,7

Эмпирическую модель стойкости представим в виде уравнения регрессии [14]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (1)$$

По результатам опытов, выполненных в соответствии с принятым планом эксперимента (табл. 2) вычислены коэффициенты уравнения регрессии (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения регрессии

Сплав \ Коэффициент	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
КММ253	27,677	-17,878	-19,391	1,865	5,773	-0,042
КМГ203	42,117	-43,690	-29,742	12,009	10,692	-0,594

После подстановки значений коэффициентов уравнение (1) принимает вид:
для сплава КММ253:

$$y = 27,677 - 17,878x_1 - 19,391x_2 + 1,865x_1x_2 + 5,773x_1^2 - 0,042x_2^2 \quad (2)$$

для сплава КМГ203:

$$y = 42,117 - 43,69x_1 - 29,742x_2 + 12,009x_1x_2 + 10,692x_1^2 - 0,594x_2^2 \quad (3)$$

Для обеих эмпирических моделей коэффициент b_{22} меньше доверительного интервала, поэтому его можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнений регрессии

(2), (3) [15]. После исключения пересчитываем коэффициенты методом наименьших квадратов, коэффициенты уравнения регрессии после пересчета представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов уравнения регрессии после пересчета

Кoeffициент Сплав	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}
КММ253	23,195	-17,881	-19,394	3,245	13,022
КМГ203	33,588	-43,697	-29,747	20,900	23,968

Уравнения (2) и (3) неудобны для интерпретации полученных результатов и практических расчетов, поэтому преобразуем их по формулам перехода от кодированных значений (x_1, x_2) к натуральным значениям факторов (s, v) : для сплава КММ253

$$x_1 = \frac{v - 60}{30}, x_2 = \frac{f - 0,11}{0,05}. \tag{4}$$

Получаем эмпирические модели с натуральными значениями факторов:

$$T(v, f) = 167,832 - 2,567v - 517,68f + 2,163vf + 0,014v^2, \tag{5}$$

для сплава КМГ203

$$T(v, f) = 374,257 - 6,186v - 1430,94f + 13,933vf + 0,027v^2. \tag{6}$$

На рис. 3 представлены зависимости стойкости инструмента от скорости и подачи при точении коррозионно-стойкой жаропрочной

стали сплавом режущей пластины КММ253, на рис.4 аналогичные зависимости при точении сплавом КМГ203.

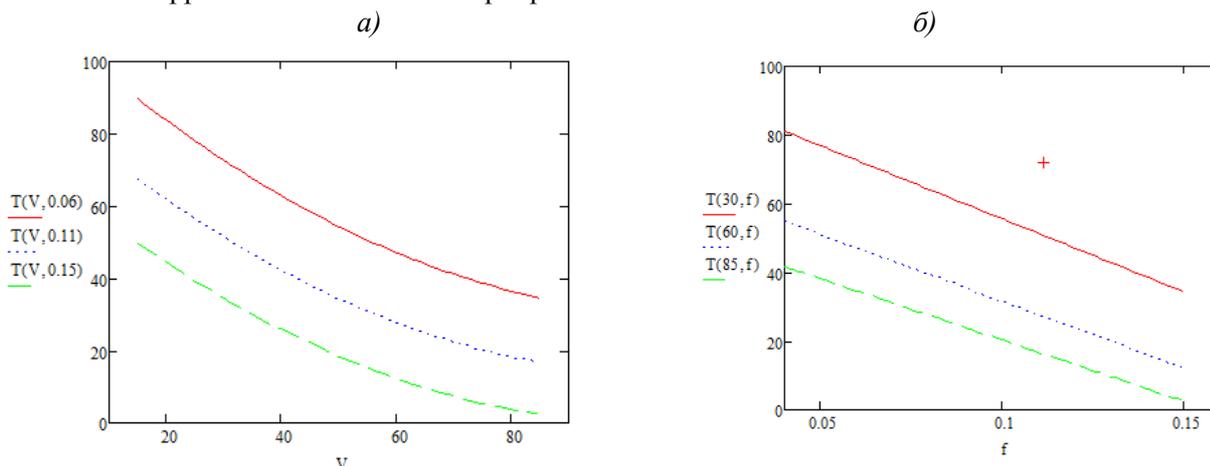


Рис. 3. Влияние скорости резания и подачи на стойкость инструмента из сплава КММ253:
 а – зависимость скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,11 мм/об, 0,15 мм/об;
 б – зависимость подачи при скорости 30 м/мин, 60 м/мин, 85 м/мин

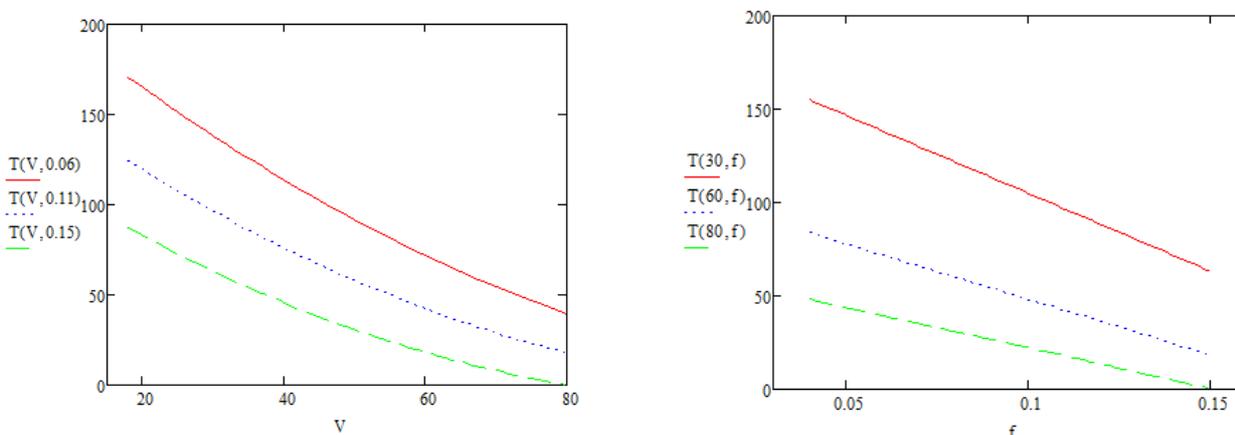


Рис. 4. Влияние скорости резания и подачи на стойкость инструмента из сплава КМГ203:
 а – зависимость скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,11 мм/об, 0,15 мм/об;
 б – зависимость подачи при скорости 30 м/мин, 60 м/мин, 80 м/мин

Закономерности стойкости режущего инструмента при точении коррозионно-стойкой жаропрочной стали сплавом КММ253 (рис. 3), в общем, аналогичны точению сплавом КМГ203 (рис. 4). Отличия состоят в числовых значениях стойкости при определенных сочетаниях технологических режимов. Стойкость режущего инструмента при точении сплавом КМГ203 несколько больше, чем при аналогичных сочетаниях технологических режимов точения сплавом КМГ203.

Выводы. Разработанные эмпирические модели стойкости инструмента при точении сплавами КММ253 и КМГ203 позволяют обоснованно назначать технологические параметры, обеспечивающие заданные параметры стойкости, прогнозировать значение длительности работоспособности инструмента, проводить оптимизацию технологических параметров с целью повышения производительности, снижения себестоимости.

**Материалы подготовлены в рамках выполнения гранта РФФИ «Математическое моделирование и оптимизация процессов механической обработки как средство управления технологическими параметрами на основе нечеткой логики» №14-41-08044.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуюн Т.А., Гринек А.В., Сахаров Д.В. Управление тепловыми параметрами процесса механической обработки с использованием численного моделирования их тепловых зависимостей // Промышленные контроллеры АСУ. 2015. №10. С. 43–50.
2. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
3. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные Марки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 64 с.
4. ОСТ 24.125.16-89 Тройники штампованные переходные для трубопроводов АЭС. М.:1991. 5 с.
5. Бойко А.Ф., Воронкова М.Н. Теория планирования и организация многофакторных экспериментов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 73 с.
6. Youming Liu, Liuhe Li, XunCai, QiulongChen, MingXu, Yawei Hu, Tik-Lam Cheung, ShekC., Paul K. Chu. Effects of pretreatment by ionimplantation and interlayer on adhesion betweenaluminum substrate and TiN film//Thin SolidFilms. 2005. Vol. 493, Iss 1-2. P. 152–159
7. Нарцев В. М., Зайцев С. В., Прохоренков Д. С., Евтушенко Е. И., Ващилин В.С. Зависимость структуры ALN-покрытий от концентрации азота при осаждении на сапфир магнетронным методом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №1. С. 144–149.
8. AnuragSrivastava, BhoopendraDharDewan, Structural and elastic properties of ZrN and HfN: ab initio study// Canadian journal of Physics. Volume 92. 2014. 1058–1061
9. Шпур Г., Штеферле Т. Справочник по технологии резания материалов. М.: Машиностроение, 1985. 616 с.
10. Stroiber W. Comminution Technology and Energy consumption. Part 1 // Cement International. 2003. №2.
11. Пчёлкин В.М. Особенности износа твердосплавных пластин при высокоскоростной обработке // Образование, наука, производство. 2015. С. 1703–1707.
12. Реброва И.А. Планирование эксперимента. Омск: СибАДИ, 2010. 105 с.
13. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
14. Дуюн Т.А., Бешевли О.Б. Влияние технологических параметров на температурный режим и получаемое качество поверхности при фрезеровании баббита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2. С. 112–117.
15. Рубанов В.Г., Бушуев Д.А. Моделирование экстремальных систем управления в среде Matlab и Simulink, как средство анализа динамики // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2012. №19 (138). Вып. 24/1. С. 169–175.

Pchelkin V.M., Duyun T.A., EMPIRICAL MODELS DURABILITY CARBIDE INSERTS IN TURNING A CORROSION-RESISTANT HEAT-RESISTANT STEEL

The technique of developing empirical models wear resistance of carbide inserts for turning of different brands of corrosion-resistant heat-resistant steel 08X18H10T. The experiment was conducted in a production environment using the existing industrial equipment, tooling and tools. As the work piece used Tee - pipeline fittings. A special feature of the experiment was intermittent cutting with impact loads. For the development of models used by the planning of extreme experiments of the second order by rotatable planning. As the study of technological parameters adopted: the supply of cutting tools and cutting speed. The charac-

ter of wear, the magnitude of the resistance of various grades of carbide inserts with the same process conditions, the effect of the studied set of technological regimes of turning on the wear processes. The developed empirical models enable reasonably assign process parameters to predict the value of the tool life, to carry out optimization of process parameters for a given resistance by the criterion of maximum productivity.

Key words: *empirical model of wear resistance, tees stamped transition, turning corrosion-resistant heat-resistant steel, resistant carbide tools, optimizing cutting conditions, rototabelnoe experiment planning.*

Пчёлкин Вячеслав Михайлович, аспирант кафедры технологии машиностроения.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: pvm0106@mail.ru

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, доцент, зав. каф. технологии машиностроения.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: tanduun@mail.ru