

А. С. Сергеев, А. Л. Плотников

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕХАНООБРАБОТКИ СБОРНЫМ МНОГОЛЕЗВИЙНЫМ ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Рассматриваются вопросы управления качеством механообработки на фрезерных станках с ЧПУ. Приведены экспериментальные данные, характеризующие отсутствие единых алгоритмов назначения технологических режимов фрезерной обработки для обеспечения заданных показателей качества поверхности. Описаны методики применения диагностических параметров для формирования алгоритмов управления качеством механообработки. *Сборный многолезвийный инструмент; шероховатость; торцовое фрезерование; качество поверхности; термо-ЭДС*

Одной из главных тенденций современного автоматизированного станочного производства является обеспечение заданных показателей качества обрабатываемых поверхностей. Применение современных технологий и непрерывная модернизация устройств программного управления технологическим оборудованием расширяет возможности существующих станочных систем и приводит к росту парка станков с программным управлением. В настоящее время фрезерные операции занимают значительную долю процессов механообработки в различных отраслях машиностроительного производства.

### АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Обработка сборным многолезвийным инструментом (торцовой фрезой) в условиях автоматизированного производства является достаточно сложным и многофакторным процессом, во многом определяющим качество механообработки. Повышение качества поверхности обрабатываемых изделий является необходимым требованием ввиду усложнения условий эксплуатации ответственных деталей машин, связанных с ростом скоростей, появлением значительных контактных и динамических нагрузок, воздействием высоких температур, коррозионных сред и т. д.

В связи с этим обеспечение заданных показателей качества обрабатываемых поверхностей в условиях автоматизированного станочного производства является достаточно актуальной задачей, требующей принципиально нового подхода для ее решения.

### АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО СПРАВОЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

Достаточно очевидным фактом является то, что характер формирования высоты микронеровностей деталей при торцовом фрезеровании во многом определяют технологические режимы обработки, а также состояние сборного многолезвийного инструмента. Основными факторами, влияющими на качество обрабатываемых поверхностей, являются технологические режимы обработки, в частности, скорость резания  $V$ , которая во многом определяет характер пластического течения металла, формируя высоту микронеровностей деталей.

В настоящее время существует широкий спектр справочно-нормативной литературы, позволяющей рассчитать технологические режимы обработки деталей торцовой фрезой на фрезерных операциях. Однако при ближайшем рассмотрении данной методики назначения режимов обработки можно пронаблюдать расхождение показателей технологических режимов обработки в разы.

В табл. 1 приведены расчетные значения скорости резания стали ШХ15 и 40Х13 при заданных показателях обработки. Для стали ШХ15 глубина резания  $t = 1,4$  мм, и подача на зуб фрезы  $s_z = 0,1$  мм/зуб. Для стали 40Х13 глубина резания  $t = 1$  мм, и подача на зуб фрезы  $s_z = 0,1$  мм/зуб. Расчетные показатели скорости резания были назначены по пяти справочным источникам. Диаметр сборной торцовой фрезы  $D = 100$  мм, ширина фрезерования  $B = 90$  мм, количество зубьев  $z = 8$ .

Инструментальный материал: твердый сплав Т15К6 – сменная пятигранная пластина по ГОСТ 19065-80.

Экспериментальные исследования проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП. Измерения шероховатости поверхности детали производились профилометром «Абрис – ПМ7». Как видно из табл. 1 погрешность назначенных показателей скорости резания составляет в среднем 180 %, что говорит о недостоверности данных, получаемых путем расчета технологических режимов обработки по справочно-нормативной литературе.

Таблица 1

**Расчетные значения скорости резания при фрезерной обработке торцовой фрезой сталей ШХ15 и 40Х13**

Справочная нормативная литература под редакцией	Год издания	Скорость резания $V$ , м/мин	
		Обрабатываемый материал	
		ШХ15	40 Х13
Косиловой А. Г.	2003	239	130
Баранчикова В. И.	1990	231	127
Малова А. Н.	1973	289	148
Локтева А. Д.	1991	197	74
Барановского Ю. В.	1972	226	163
Минимальное значение		197	74
Максимальное значение		289	163
Кратная разница		1,47	2,21

**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

В производственных условиях для обеспечения требуемой работы автоматизированного станочного оборудования и заданных показателей качества обрабатываемых поверхностей необходима методика расчета и назначения технологических режимов обработки деталей торцовой фрезой на фрезерных станках с ЧПУ исходя из назначаемых качественных показателей. При этом основным критерием пригодности обработанной детали, является попадание в заданный класс шероховатости поверхности, который является весьма важным и показательным пара-

метром, характеризующим технологическую пригодность готовой продукции. В настоящее время существует ряд справочно-нормативных источников, позволяющих исходя из заданного класса шероховатости обрабатываемой поверхности назначить технологические режимы ее обработки.

В табл. 2 приведены технологические режимы для полустальной обработки стали 45 и 40Х с обеспечением требуемой шероховатости обработанной поверхности 5 класса по пяти справочным источникам, а также измеренные показатели шероховатости поверхности после обработки на назначенных режимах. Эксперименты проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП, инструментальный материал Т15К6 – сменная пятигранная пластина по ГОСТ 19065-80. Эксперименты проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП, инструментальный материал Т15К6 – сменная пятигранная пластина по ГОСТ 19065-80. Измерения шероховатости поверхности детали производились профилометром «Абрис – ПМ7». Глубина резания  $t = 2$  мм, ширина фрезерования  $B = 65$  мм, число зубьев фрезы  $z = 8$ .

В табл. 3 приведены технологические режимы для чистовой обработки стали 45 и 40Х с обеспечением требуемой шероховатости обработанной поверхности 6 класса по пяти справочным источникам, а также измеренные показатели шероховатости поверхности после обработки на назначенных режимах. Глубина резания  $t = 1$  мм, ширина фрезерования  $B = 65$  мм, число зубьев фрезы  $z = 8$ .

Как видно из полученных экспериментальных данных процент расхождения технологических показателей обработки составляет в среднем 300 % при этом ряд показателей шероховатости поверхности  $R_a$  согласно ГОСТ 2789 выходят по значениям за класс установленной шероховатости.

Следует отметить, что в условиях автоматизированного станочного производства такое расхождение в параметрах, характеризующих технологические режимы обработки деталей, и установленных классов шероховатости поверхности не допустимы и могут быть губительны как с точки зрения качественных, так и с точки зрения количественных показателей.

Таблица 2

**Технологические режимы полустойковой обработки стали 45 и 40Х  
при заданном 5 классе шероховатости поверхности**

Справочная нормативная литература под редакцией	Год издания	Скорость резания V, м/мин		Подача на зуб $s_z$ , мм/зуб		Расчетное значение $R_a$ , мкм	Полученное значение $R_a$ , мкм		
		Обрабатываемая сталь							
		45	40Х	45	40Х	45/40Х	45	40Х	
Филиппова Г. В.	1981	130	90	0,115	0,115	3,2	7,07	5,78	
Грановского Г. И.	1974	274	212	0,115	0,115		6,12	4,71	
Косовского В. Л.	1992	295	154	0,038	0,038		3,8	3,7	
Френкеля С. Ш.	1982	211	165	0,1	0,125		5,27	9,88	
Оглоблина А. Н.	1982	342	214	0,088	0,088		5,86	4,79	
Минимальное значение		130	90	0,038	0,038		3,8	3,7	
Максимальное значение		342	214	0,115	0,125		7,07	9,88	
Кратная разница		2,63	2,37	3,03	3,29	1,86	2,67		

Причины такого расхождения могут скрываться в неоднородности свойств инструментального и обрабатываемого материала, а также в применении справочными источниками средних значений коэффициентов, учитывающих влияние инструментального и обрабатываемого материала на характер процесса обработки. Наряду с технологическими режимами обработки на показатели высоты микронеровности детали оказывает влияние теплопроводность обрабатываемого и инструментального материалов. Влияние теплопроводности контактной пары сказывается на температурно-деформационных закономерностях пластического деформирования как в зоне контактных пластических деформаций так и в зоне стружкообразования.

Реальный диапазон колебания только режущих свойств (а с ними и соответствующее колебание теплопроводности) твердосплавных инст-

рументов одной марки, как внутри партии, так и между партиями спекания одного завода-изготовителя или разных заводов достигает двукратного уровня и более. При этом все партии твердосплавных инструментов укладываются в установленные допуски. Для автоматизированного станочного оборудования такая неоднородность режущих свойств твердосплавного инструмента резко снижает стабильность, производительность, а самое главное – качество обработки [1].

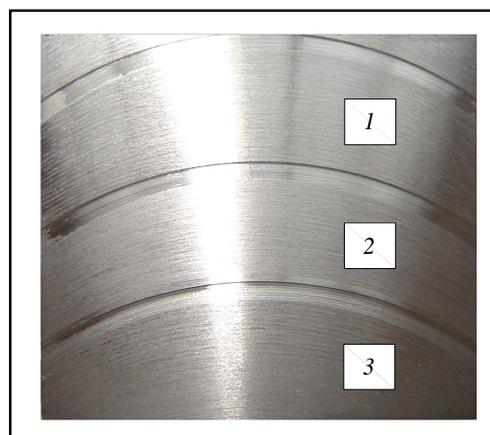
Установлено, что теплопроводность как инструментального, так и обрабатываемого материала тесно связана со значением термо-ЭДС этой контактной пары. На рис. 1 представлен фрагмент детали, обработанной тремя марками сменных пятигранных пластин, одним зубом фрезы диаметром  $D_\phi = 100$  мм.

Таблица 3

**Технологические режимы полустойковой обработки стали 45 и 40Х  
при заданном 6 классе шероховатости поверхности**

Справочная нормативная литература под редакцией	Год издания	Скорость резания $V$ , м/мин		Подача на зуб $s_z$ , мм/зуб		Расчетное значение $R_a$ , мкм	Полученное значение $R_a$ , мкм		
		Обрабатываемая сталь							
		45	40Х	45	40Х	45/40Х	45	40Х	
Филиппова Г. В.	1981	160	120	0,052	0,052	1,6	2,1	4,75	
Грановского Г. И.	1974	274	267	0,115	0,052		2,69	2,28	
Косовского В. Л.	1992	316	165	0,025	0,025		1,81	1,73	
Френкеля С. Ш.	1982	251	200	0,069	0,075		3,78	3,45	
Оглоблина А. Н.	1982	374	235	0,063	0,063		3,53	4,77	
Минимальное значение		160	120	0,025	0,025		1,81	1,73	
Максимальное значение		374	267	0,115	0,075		3,78	4,77	
Кратная разница		2,34	2,23	4,6	3	2,09	2,76		

В табл. 4 приведены значения термо-ЭДС пластин, измеренных предварительно перед обработкой, показатели шероховатости  $R_a$  обработанной детали, а также марка инструментального материала. Методика измерения сигнала термо-ЭДС пробного прохода подробно описана в литературе [1]. Эксперименты проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП, обрабатываемая деталь – сталь 40Х, инструмент СМП – (пятигранная пластина по ГОСТ 19065-80). Измерения шероховатости поверхности детали производились профилометром «Абрис – ПМ7». Технологические режимы обработки: глубина резания  $t = 1,5$  мм, скорость резания  $V = 95$  м/мин, подача на зуб фрезы  $s_z = 0,17$  мм/зуб, минутная подача  $s_{мин} = 50$  мм/мин, обороты фрезы  $n = 300$  об/мин. Из табл. 4 видно, что с изменением марки инструмента изменяется термо-ЭДС контактной пары. Увеличение значения термо-ЭДС контактной пары приводит к увеличению показателя высоты микронеровности обработанной поверхности, что в свою очередь характеризует снижение качества механообработки.



**Рис. 1.** Снимок обработанного образца стали 40Х твердыми сплавами марки: 1 – BK8; 2 – T5K10; 3 – T15K6

На рис. 2 представлен фрагмент обработанной детали четырьмя сменными пятигранными пластинами (по ГОСТ 19065-80) марки ТТ7К12 одним зубом фрезы диаметром  $D_\phi = 100$  мм.

Таблица 4

## Значения термо-ЭДС пластин

Номер пластины	Марка инструмента	Значения термо-ЭДС пластин $E$ , мВ	$R_a$ , мкм
1	ВК8	13,7	4,46
2	T5K10	12,9	3,30
3	T15K6	9,5	2,51



**Рис. 2.** Снимок обработанного образца стали 40X четырьмя пластинами твердого сплава ТТ7К12 с термоЭДС: 1 –  $E = 10,8$  мВ; 2 –  $E = 10,3$  мВ; 3 –  $E = 9,8$  мВ; 4 –  $E = 9,3$  мВ

Эксперименты проводились на фрезерном станке модели 6Н11КП, обрабатываемая деталь – сталь 40X. Технологические режимы обработки: глубина резания  $t = 2,5$  мм, скорость резания  $V = 80$  м/мин, подача на зуб фрезы  $s_z = 0,25$  мм/зуб, минутная подача  $s_{мин} = 63$  мм/мин, обороты фрезы  $n = 255$  об/мин. Из табл. 5 видно, что с увеличением величины термо-ЭДС контактной пары, увеличивается показатель высоты микронеровности обработанной поверхности, несмотря на то, что во всех четырех случаях деталь обрабатывалась одной и той же маркой инструментального материала. В табл. 5 приведены значения термо-ЭДС пластин  $E$ , измеренные предварительно непосредственно перед обработкой и показатель шероховатости  $R_a$ , обработанной детали.

На участке 1 (см. рис.1) получили шероховатость поверхности по 5 классу, а на участке 4 получили шероховатость поверхности по 6 классу, при этом выход за пределы установленного класса шероховатости обрабатываемой поверхности считается грубейшим нарушением

технологического процесса и деталь, в конечном итоге, может быть просто забракована.

Таблица 5

## Значения термо-ЭДС пластин ТТ7К12

Номер пластины	Значения термо-ЭДС пластин марки ТТ7К12 $E$ , мВ	$R_a$ , мкм
1	10,8	3,11
2	10,3	2,72
3	9,8	2,15
4	9,3	1,56

### МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Несмотря на всю кажущуюся определенность выбранных свойств режущего твердосплавного инструмента, фактически (как показал последний опыт) назначение по справочно-нормативной литературе одинаковых технологических режимов резания для одной контактной пары является ошибочным ввиду наличия разброса режущих свойств, как обрабатываемого материала, так и режущего инструмента.

Таким образом, встает вопрос получения оперативной информации о состоянии каждой отдельной контактной пары при механообработке на фрезерных станках с ЧПУ сборным многолезвийным твердосплавным инструментом в условиях автоматизированного производства. Использование эффекта появления термо-ЭДС предоставляет возможность получения такой оперативной информации непосредственно на рабочем месте. Кроме того, получение сигнала термо-ЭДС в процессе выполнения фрезерной операции позволяет станочнику анализировать по карте состояния процессы врезания фрезы в заготовку, учитывать изменение термо-ЭДС при смене твердосплавных пластин, оценивать степень их нагружения.

Использование термоэлектрических явлений, сопутствующих процессу фрезерования, дает возможность предварительного диагностирования сборного многолезвийного инструмента [2].

С точки зрения проблем управления работой многолезвийного инструмента задача получения информации о его состоянии многогранна. Кроме определения режущей пластины с пони-

женными режущими свойствами необходимо получение информации о количестве таких пластин, характере расположения: последовательно друг за другом или чередуясь с пластинами с хорошими режущими свойствами. Алгоритм управления процессом многолезвийной обработки может быть построен следующим образом: в режиме пробного фрезерования (см. в работе [3]) в течении 4–5 с. сигнал термоЭДС поступает в блок аналогово-цифрового преобразователя, с выхода которого оцифрованный сигнал передается в ЭВМ. При правильно выбранной частоте дискретизации удается зафиксировать на полученных осциллограммах термоЭДС, характерные для прерывистого резания явления, которые невозможно было бы выявить аналоговыми методами. После окончания пробного прохода производится программная обработка записанного массива чисел с целью определения наибольшего числа с помощью классического алгоритма нахождения максимального (минимального) элемента в множестве. Найденное максимальное значение термо-ЭДС запоминается и передается программой в блок выбора и коррекции режимов резания.

### ВЫВОДЫ

Предложенный метод позволяет использовать диагностический параметр – термо-ЭДС, характеризующий свойства каждой контактной пары «инструмент – деталь». Значения коэффициентов, учитывающих влияние инструментального и обрабатываемого материала на характер процесса обработки может быть найдено экспериментальным путем как функция от термо-ЭДС. Таким образом, при смене контакт-

ной пары «инструмент – деталь» мы получаем сигнал термо-ЭДС, характеризующий физико-механические свойства данной контактной пары, что может быть использовано в расчетах высоты микронеровности поверхности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Плотников А. Л.** Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ: монография. ВолгГТУ. Волгоград: Политехник, 2003. 184 с.
2. **Плотников А. Л.** Автоматический контроль состояния сборного многолезвийного инструмента // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3. С. 25–28.
3. **Плотников А. Л.** Управление системами и процессами в машиностроении: учеб. пособ. по выполнению курсовой работы // ВолгГТУ. Волгоград, 2011. 96 с.

### ОБ АВТОРАХ

**Сергеев Александр Сергеевич**, асп. каф. автоматизация производственных процессов Волгоградск. гос. техн. ун-та. Дипл. инженер по автоматизации технологических процессов и производств в машиностроении (ВолгГТУ, 2009). Иссл. в обл. надежности и управления качеством многолезвийной металлообработки.

**Плотников Александр Леонтьевич**, проф. той же каф. Дипл. инженер по комплексной механизации и автоматизации в машиностроении (ВПИ, 1968). Д-р техн. наук по автоматизир. станоч. оборудованию и по выбору режимов резания (2002). Иссл. в обл. автоматического управления процессом лезвийной обработки металлов.