

УДК 621.01(06)

Т.Т. Аль-Судани, аспирант
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел.: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА И ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ

В данной статье приведены данные по повышению параметров качества фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки зубьев, которые основываются на обеспечении изменяющихся параметров свойств режущей кромки в зависимости от действующих эксплуатационных функций. Приведены структуры технологических процессов для обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев фрез и повышения параметров качества фрез в целом. В работе разработана методика экспериментальных исследований стойкости фрез, обработанных в соответствии с предлагаемой технологией. Выполнены сравнительные исследования стойкости обычных фрез и обработанных по специальным технологическим процессам.

Ключевые слова: функционально-ориентированная технология, повышение стойкости фрез, экспериментальные исследования.

Введение

С развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к качеству металлорежущих инструментов, в том числе фрез, которые работают с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев [1, 2, 3, 4, 5]. Отношение максимальной и минимальной скоростей резания по длине режущей кромки зуба у этих фрез, характеризующее неравномерность скоростей резания, в ряде случаев, достигает $k_v = 2 \dots 4$. Это приводит к снижению производительности и стойкости этих фрез [6].

Наличие неравномерных скоростей резания по длине режущих кромок зубьев фрезы обуславливают следующие отличительные особенности их работы (рис. 2):

- неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев, возникающие из-за особенностей их пространственного расположения на фрезе;
- неравномерный износ режущих кромок по их длине, происходящий из-за изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки;

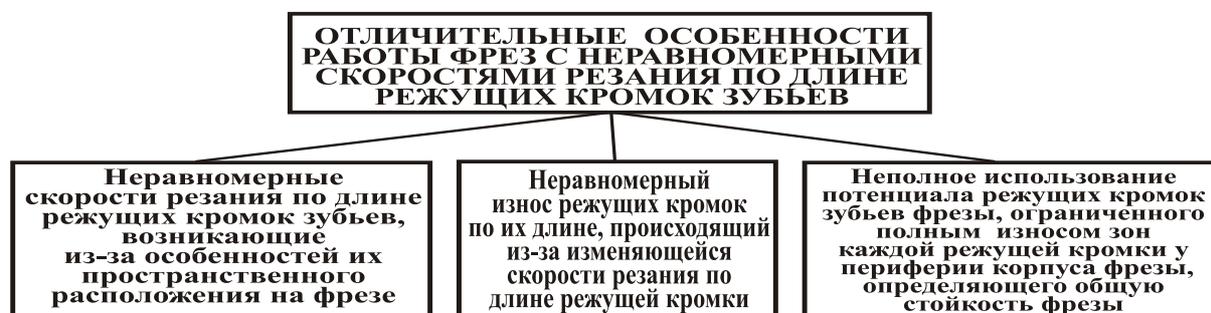


Рис. 1. Особенности работы фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

- неполное использование потенциала режущих кромок зубьев фрезы, ограниченного полным износом зон каждой режущей кромки у периферии корпуса фрезы, определяющего общую стойкость ее работы.



Рис. 2. Основные задачи по повышению производительности и/или стойкости фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

Приведенные особенности работы этих фрез вызывают необходимость разработки целого ряда различных мероприятий по повышению их работоспособности [6, 7]. В частности, в этой работе предложено выполнять изменяющиеся свойства по длине режущей кромки в зависимости от особенностей действия эксплуатационных функций. Выполнение этих мероприятий обеспечит повышение производительности и стойкости работы фрез данного класса. Однако для широкого использования таких фрез необходимо решение следующих основных задач (рис. 2):

- обеспечение равномерного износа режущих кромок зубьев по их длине;
- достижение полного потенциала использования режущих кромок зубьев по их длине;
- сохранение изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от условий эксплуатации;
- снижение износа режущих кромок зубьев фрезы в целом.

Можно отметить, что в работе предусматривается реализацию изменяющихся свойств в следующих направлениях:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.

Однако следует иметь в виду, что изменяющиеся свойства режущих кромок зубьев по их длине необходимо сохранить на максимально длительный период времени, а также снизить их износ в целом для достижения максимального эффекта. Для этого необходимо разработать целый комплекс технологического обеспечения (рис. 2).

Целью данной работы является повышение качества фрез работающих в условиях неравномерных скоростей резания по длине режущих кромок зубьев за счет обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от действующих эксплуатационных функций и применения специальных композиционных покрытий, путем реализации функционально-ориентированных технологических процессов и технологического обеспечения.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие основные задачи:

- выполнить разработку функционально-ориентированного технологического процесса и обеспечения для реализации изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине;
- разработать методику экспериментальных исследований по определению стойкости фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев по их длине;
- выполнить сравнительные экспериментальные исследования стойкости предлагаемых и стандартных фрез;
- разработать рекомендации по повышению производительности и стойкости фрез имеющих неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев.

Эти задачи решаются в данной работе.

Технологическое обеспечение изготовления фрез со специальными свойствами

Выполненные исследования [6] позволили разработать следующие варианты структур технологических процессов дополнительной обработки фрез (рис. 3): рис.3,а – предлагаемая полная структура; рис.3,б – процесс только с напылением покрытия (Ti, Cr) N ; рис.3,в – предлагаемая неполная структура; г – процесс анализа параметров фрезы.

Разработанный 1-й структурный вариант технологического процесса имеет полную структуру и состоит из трех этапов: технологические операции до нанесения покрытия (на этом этапе выполняется обеспечение изменяющихся свойств по длине режущей кромки в зависимости от особенностей действия скорости резания); технологические операции по нанесению специальных покрытий (покрытие принято многослойное композиционное (Ti, Cr) N , толщина покрытия 12 мкм, материал фрезы быстрорежущая сталь Р6М5 для обрабатываемого материала сталь 45); технологические операции после нанесения покрытия. Последовательность операций этого технологического процесса приведена на рис. 3,а. В этом технологическом процессе производится следующее:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.

2-й структурный вариант технологического процесса включает операции аналогичные 2-му этапу 1-го структурного варианта технологического процесса и операции 1

и 2, соответственно 2-го и 3-го этапов, связанных с анализом параметров фрезы. Последовательность операций этого технологического процесса приведена на рис. 3,б. В данном случае покрытие нанесено аналогичное предыдущему технологическому процессу, а именно, покрытие многослойное композиционное (Ti, Cr) N , толщина покрытия 12 мкм, материал фрезы быстрорежущая сталь Р6М5.

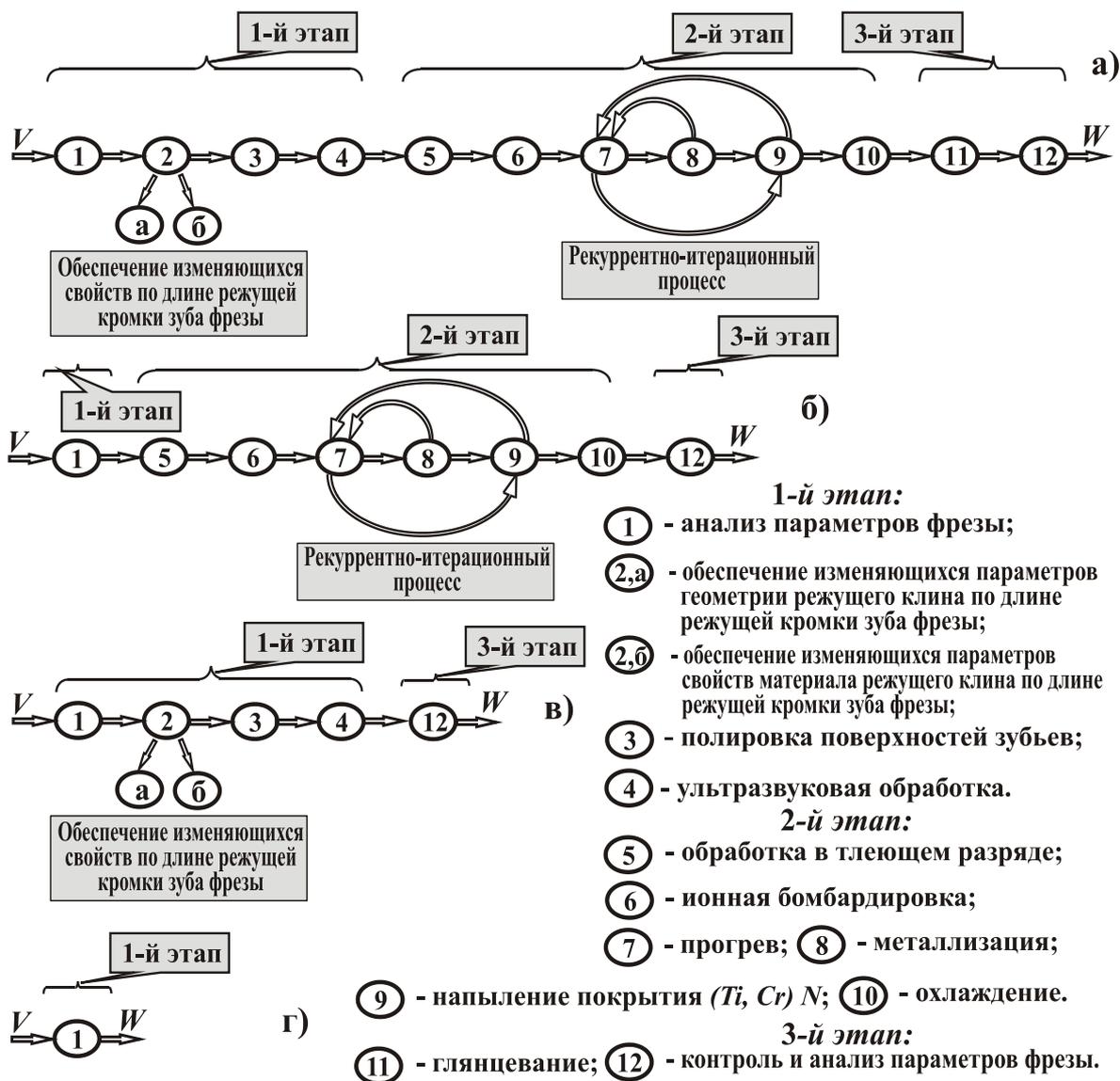


Рис. 3. Варианты структур технологических процессов дополнительной обработки фрез: а – предлагаемая полная структура; б – процесс только с напылением покрытия (Ti, Cr) N ; в – предлагаемая не полная структура; г – процесс анализа параметров фрезы

Предлагаемый 3-й структурный вариант технологического процесса (рис. 3,в) включает операции аналогичные 1-му этапу 1-го структурного варианта технологического процесса и операцию 12 из 3-го этапа, предназначенную для анализа полученных

параметров фрезы. С помощью структуры этого технологического процесса проведена специальная обработка режущих кромок, включающая следующее:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.

В соответствии с 4-м структурным вариантом технологического процесса (рис. 3,г) выполнен только анализ параметров фрезы. Материал фрез быстрорежущая сталь Р6М5, шероховатость передней поверхности зуба фрезы $R_a = 0,64$ мкм, шероховатость задней поверхности зуба фрезы $R_a = 0,32$ мкм. Параметры шероховатости определялись на профилограф-профилометре модели 252 (рис. 4) с применением специального приспособления.

Выполненные исследования [5] позволили установить, что наиболее целесообразно изменение радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба выполнять в соответствии со следующей зависимостью:

$$r_x = r_{\min} + \frac{(R_x - R_{\min})(r_{\max} - r_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})}; \quad (1)$$

где r_x, r_{\min}, r_{\max} – текущий, минимальный и максимальный радиус закругления режущего клина, соответственно.

На основании выражения (1) выполнено обеспечение изменяющихся параметров радиуса режущего клина по длине режущей кромки зубьев фрез.

В работе проведены экспериментальные исследования по установлению зависимости длительности пневмоструйной обработки на изменение радиуса режущего клина зуба фрезы. На рис. 5 представлена зависимость влияния длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина (абразив



Рис. 4. Общий вид профилограф-профилометра модели 252 (рис. 4) со специальным приспособлением для измерения параметров шероховатости поверхностей фрез

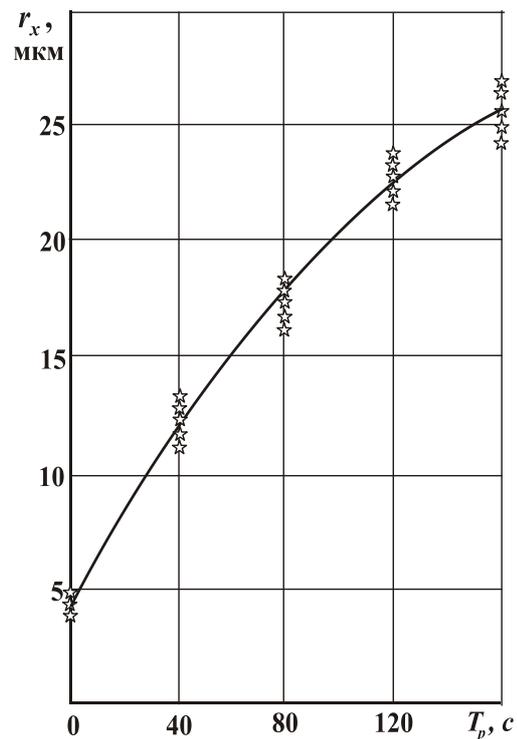


Рис. 5. Влияние длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина

F60, давление воздуха 0,6 МПа, диаметр сопла 3,0 мм, расстояние от сопла до кромки фрезы 15 мм. Эти исследования выполнены для определения параметров дальнейшего обеспечения изменяющихся параметров радиуса режущего клина по длине режущей кромки фрезы.



Рис. 6. Общий вид установки для пневмоструйной обработки фрез

Можно отметить, что применение пневмоструйной обработки для обработки режущих кромок фрезы обеспечивает следующее:

- изменение радиуса режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы;
- наклеп поверхностного слоя режущего клина режущей кромки зуба фрезы;
- предварительную тренировку режущей кромки и поверхностей зуба фрезы перед началом использования инструмента.

Формирование изменяющихся свойства функциональных элементов выполнялись с помощью пневмоструйной обработки. При этом изменяющийся радиус закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы обеспечен в соответствии с зависимостью (1) на основании графика рис. 5 с помощью установки для пневмоструйной обработки фрез (рис. 6).

Кроме того, с помощью пневмоструйной установки выполнена тренировка и наклеп режущего клина по длине режущей кромки (главной и вспомогательной) зуба фрезы, а также выполнен наклеп поверхностных слоев передней и задней поверхности с изменяющимися параметрами от режущей кромки по поверхности. На рис. 6 показан общий вид установки для пневмоструйной обработки фрез. С помощью пневмоструйной установки выполнена обработка главных и вспомогательных режущих кромок, передних и задних поверхностей фрез.

Подготовка функциональных элементов фрезы к нанесению покрытий выполнена на базе комбинированных методов обработки (полировка, ультразвуковая обработка). Эти вопросы решались с помощью специального оборудования для подготовки фрез к нанесению покрытий [6, 7].

Станок для операций полировки и глянцеваания (рис.7) позволяет вести обработку поверхностей фрез при двух скоростях вращения 1500 и 3000 об/мин. В качестве инструмента применяли круг войлочный с применением специальных паст, а именно: для операции полирования зернистость абразива 24 мкм, а для операции глянцеваания зернистость абразива 12 мкм.

Обезжиривание и очистку проводили на установке для комплексной ультразвуковой обработки. В качестве источника колебаний применена установка ультразвуковых колебаний УЗГ 3-4 и магнестрикционные преобразователи ПМС 2,5-18, смонтированные на специальных ваннах.



Рис. 7. Полировальный станок для выполнения операций полировки и глянцеваания поверхностей фрезы

Магнитострикционный преобразователь ПМС-2,5-18 предназначен для ультразвуковой очистки и обезжиривания деталей, а также для других технологических процессов с воздействием ультразвука, протекающих в жидких средах (за исключением растворов кислот). Источником питания преобразователя ПМС-2,5-18 служит ультразвуковой генератор УЗГЗ-4.

Ультразвуковая обработка фрез выполнялась в специальных ваннах с применением следующего состава раствора: тринатрийфосфат технический – 30 ... 40 г/л; сода кальцинированная техническая 20 ... 30 г/л; поверхностно активное вещество ОП-7 или ОП-10 – 3,5 г/л. Температура раствора 50 ... 60 °С.

Затем производилась промывка фрез проточной водой и выполнялась его обработка бензином «Галоша» (БР-1) ГОСТ 443-76, после этого промывка в спирте этиловом.

Процесс консервации изменяющихся параметров свойств выполнен с помощью специального ионно-плазменного покрытия (Ti, Cr) N . Нанесение покрытия выполня-

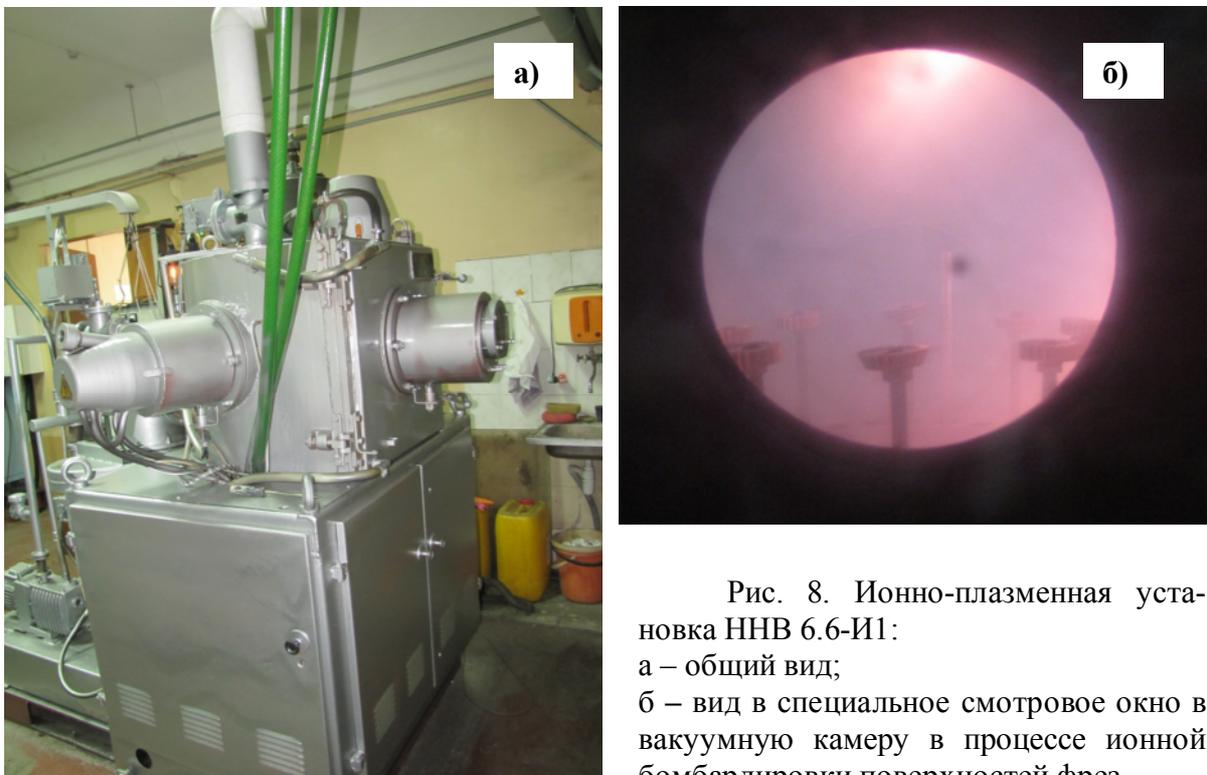


Рис. 8. Ионно-плазменная установка ННВ 6.6-И1:

а – общий вид;

б – вид в специальное смотровое окно в вакуумную камеру в процессе ионной бомбардировки поверхностей фрез

лось с помощью вакуумной ионно-плазменной установки ННВ 6.6-И1 [6] (рис. 8). На рис. 8 представлен общий вид вакуумной ионно-плазменной установки для нанесения покрытий.

Толщина напыляемого на инструмент покрытия (Ti, Cr) N во всех случаях составила 5 ... 8 мкм. Значения толщины покрытия поверхностей инструмента определены с помощью переносного толщиномера К-5.

Обработка функциональных элементов фрезы после нанесения композиционного покрытия выполнялась с реализацией операции - глянецвание покрытия до параметра шероховатости $R_a = 0,04 ... 0,05$ мкм.

Методика экспериментальных исследований по определению стойкости фрез

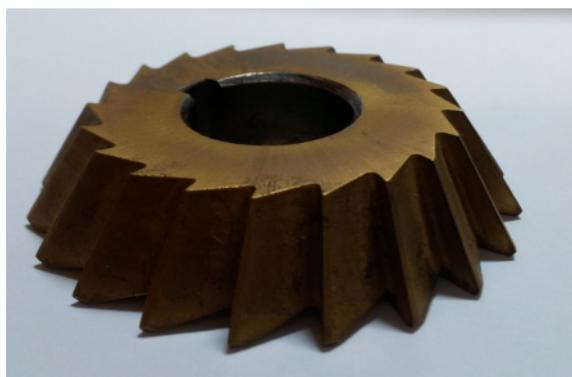


Рис. 9. Общий вид фрезы с углом наклона режущих кромок зубьев 60°

Обрабатывающий инструмент и обрабатываемый материал

Для проведения экспериментальных исследований по установлению стойкости фрез были подготовлены 4-е группы инструментов, фрезы каждой из которых обработаны в соответствии с приведенными на рис. 3 структурами технологических процессов. На рис. 9 приведен общий вид фрез, которые применялись в процессе проведения экспериментальных исследований. В табл. 1 приведены основные параметры испытываемых фрез. Материал режущей части фрезы быстрорежущая сталь Р6М5.

Для установления параметров работы фрез, обработанных в соответствии с предлагаемыми 4-мя вариантами структуры технологических процессов, выполнены сравнительные экспериментальные исследования по определению стойкости фрез.

Количество испытываемых фрез определено в соответствии с основными принципами планирования эксперимента [8], в качестве параметра совокупности при эксперименте принято значение величины максимального износа задней поверхности зуба в заданный момент времени. Здесь можно отметить, что, так как скорость резания по длине режущей кромки зуба переменная, соответственно износ задней поверхности зуба по длине режущей кромки также переменный. При этом максимальное значение износа задней поверхности зуба находится в зоне кромки с максимальным радиусом от оси вращения фрезы.

Таблица 1. Основные параметры испытываемых фрез из стали Р6М5

Группы фрез	Структура технологического процесса (рис. 3)	Радиус режущего клина по длине кромки, мкм	Микротвердость материала задней поверхности основы по длине кромки зуба HV, МПа	Наличие покрытия PVD; микротвердость HV, ГПа	Длина/ угол наклона главной реж. кромки мм/град.	Коэф. неравномерности скорости резания, k_v
1-я группа	а	5 ... 20	7140 ... 8550	(Ti, Cr) N $H_v = 20$	13,85/ 60°	1,35
2-я группа	б	5	7100	(Ti, Cr) N $H_v = 20$	13,85/ 60°	1,35
3-я группа	в	5 ... 20	7140 ... 8550	-	13,85/ 60°	1,35
4-я группа	г	5	7100	-	13,85/ 60°	1,35

Планирование эксперимента выполнено в соответствии с положениями планирования эксперимента с применением принципов математической статистики. С помощью этих положений можно определить количество испытываемых в эксперименте

фрез (размер выборки) в условиях неопределенности. В качестве оценки параметра совокупности принято значение величины максимального износа задней поверхности зуба в заданный момент времени.

Применение методов математической статистики к обработке наблюдений будем производить по выборочному среднему и дисперсии выборки. Так математическое ожидание случайной величины есть среднее арифметическое элементов выборки:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n ,$$

где n – количество наблюдений в выборке.

В нашем случае планируется определить количество испытываемых фрез на основании проведения эксперимента первой фрезы каждой группы фрез, а именно фрез со следующими номерами: №1, №6, №11, №16. При этом количество наблюдений проводилось для каждого зуба фрезы, а именно в нашем случае для фрезы имеющей 20 зубьев – 20 наблюдений по определению величины максимального износа задней поверхности зуба (находящегося у периферии каждого зуба) в заданный момент времени. Причем в нашем случае эти наблюдения велись через каждые 30 минут. Величина предельного износа задней поверхности зубьев фрезы по максимальной величине у периферии фрезы принята величина $h_3 = 0,4$ мм [1]. После наступления этого события для всех зубьев фрезы экспериментальные исследования завершались. При этом значения средних квадратических отклонений величины максимального износа задней поверхности зубьев каждый раз определялись соответственно через каждые 30 минут испытаний. Максимальные и минимальные значения этих величин приведены в табл. 2.

Выборочное среднее квадратическое отклонение значений величин максимального износа задней поверхности зубьев (20 зубьев фрезы) определяется по следующей формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

где X_i – значение величины максимального износа задней поверхности i – го зуба фрезы (h_3), мм;

\bar{X} – среднее значение величины максимального износа задней поверхности для 20 зубьев фрезы, мм;

n – количество наблюдений по определению максимального износа задней поверхности зубьев ($n = 20$ при 20 зубьях фрезы).

Несмещенное выборочное среднее квадратическое отклонение значений величин максимального износа задней поверхности зубьев (20 зубьев фрезы) определяется по следующей формуле [8]

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} .$$

Следует отметить, что при данных экспериментальных исследованиях принят доверительный интервал попадания величины максимального износа задней поверхности со степенью достоверности 95% и ошибкой первого рода или риском не включения параметра совокупности в доверительный интервал $\alpha = 0,05$.

Таблица 2. Расчетные параметры по определению количества фрез

Номер фрезы	Минимальное среднее квадратическое отклонение, S_{min}	Максимальное среднее квадратическое отклонение, S_{min}	Кол-во степеней свободы (количество зубьев), z	Минимальное количество фрез, n_{min}	Максимальное количество фрез, n_{max}	Принятое значение фрез n_1
1	0,0367	0,0421	20	3,353	4,097	5
6	0,0356	0,0443	20	2,214	4,429	5
11	0,0311	0,0449	20	1,690	4,522	5
16	0,0372	0,0452	20	2,418	4,538	5

Учитывая, что принят доверительный интервал со степенью достоверности 95% $\gamma = 0,95$ вероятность в распределении Стьюдента определяется по следующей формуле

$$S_n(f_c) = \frac{\gamma + 1}{2} = \frac{0,95 + 1}{2} = 0,975.$$

В соответствии с работой [8] определяем величину аргумента функции Стьюдента при числе степеней свободы $z=20$ (число измерений величины износа по задней поверхности на зубьях фрезы), которая будет следующая $f_c = 2,09$.

Для определения количества испытываемых фрез для каждой группы с учетом минимального и максимального значений среднего квадратического отклонения (табл. 2) воспользуемся выражением:

$$n_1 = \frac{f_c^2 S^2 + \alpha^2}{\alpha^2}, \quad (2)$$

где n_1 – количество фрез в каждой группе для проведения экспериментальных исследований со степенью достоверности 95%;

f_c – аргумент функции Стьюдента [8];

α – ошибка первого рода или риск не включения параметра совокупности в доверительный интервал ($\alpha = 0,05$).

Подставляя соответствующие параметры в формуле 2 результаты вычислений представляем в табл. 2. Выполнив анализ полученных данных, принимаем для всех случаев испытаний количество фрез равное пяти.

Для проведения экспериментов используем заготовки квадратного сечения с размером сторон 140 мм и длиной 285 мм, изготовленных из проката стали 45, твердостью HB = 200. Предварительно заготовки были подготовлены для проведения экспериментальных исследований, а именно обработаны боковые плоскости заготовок и изготовлены специальные пазы для крепления их на столе фрезерного станка (рис. 10). В качестве СОТС применяем – «Унизор-М».



а)



б)

Рис. 10. Заготовки для выполнения экспериментальных исследований:
а – подготовка плоскостей заготовки;
б – изготовление пазов для крепления заготовки на станке

Применяемое оборудование и режимы обработки

Экспериментальные исследования по определению стойкости групп фрез выполнялись с использованием универсально-фрезерного станка модели 6М76П (рис. 11). Данный станок предназначен для горизонтального фрезерования различных изделий сравнительно небольших размеров, а также для выполнения различных сложных инструментальных работ.

Для данного фрезерного станка, движение резания – вращение вертикального шпинделя. В качестве подачи использовалась продольное перемещение стола с обрабатываемой заготовкой.



а)



б)

Рис. 11. Общий вид процесса обработки фрезами из быстрорежущей стали Р6М5 заготовки из стали 45: а – начальный процесс обработки фрезой; б – процесс обработки заготовки в период потери стойкости фрезы

В процессе экспериментальных исследований обрабатываемая заготовка была установлена непосредственно на столе станка с помощью креплений и специальных пазов, которые предварительно были изготовлены на заготовке. Режущий инструмент закреплялся на вертикальном шпинделе станка с помощью специальных оправок.

При выполнении экспериментальных исследований во всех случаях применялись одинаковые режимы резания со следующими параметрами: частота вращения шпинделя $n_o = 210$ об/мин, подача продольного стола $s = 74$ мм/мин, глубина резания $t = 1$ мм.

Метод проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования по определению стойкости фрез выполнялись для четырех групп фрез (по 5 фрез в каждой группе). Каждая группа фрез дополнительно подвергалась обработке в соответствии с процессами, структура которых представлена на рис. 3.

Экспериментальные исследования базируются на идентичности проведения процесса фрезерования группами фрез заготовки с одинаковыми режимами резания и условиями. Здесь применяется метод сравнительных испытаний четырех групп фрез по критерию их стойкости. В качестве параметра стойкости принят износ задней поверхности зуба фрезы. Предельная величина износа задней поверхности принята $h_3 = 0,4$ мм [1] для фрез из быстрорежущей стали Р6М5 данной геометрии. После наступления этого события на задней поверхности всех зубьев для каждой фрезы экспериментальные исследования прекращаются.

Для каждой группы фрез последовательность выполнения экспериментальных исследований следующая:

1. Предварительно выполняются испытания первой фрезы из каждой группы фрез и через каждые 30 минут производятся замеры величины износа задней поверхности зубьев на инструментальном микроскопе (рис. 12).

2. Результаты испытаний заносятся в специальную таблицу и выполняются расчеты, на основании выражения (2), по определению количества фрез в группе необходимых для выполнения эксперимента с достоверностью 95% и ошибкой первого рода или риском не включения параметра совокупности в доверительный интервал $\alpha = 0,05$.



Рис. 12. Измерение величины износа задней поверхности зуба фрезы с применением инструментального микроскопа БМИ-1 с приспособлением, установленным на столе микроскопа

ному значению износа задней поверхности $h_3 = 0,4$ мм [1] и делаются соответствующие выводы.

3. Выполняются экспериментальные исследования по определению стойкости фрез для оставшихся фрез данной группы. Через 30 минут выполняются замеры величин износа задних поверхностей фрез, результаты исследований заносятся в специальные таблицы.

4. По результатам экспериментальных исследований строятся графики зависимости величины износа задней поверхности фрез каждой группы от времени их испытаний.

5. Выполняется сравнение стойкости фрез каждой группы по предельному значению износа задней поверхности $h_3 = 0,4$ мм [1] и делаются соответствующие выводы.

Полученные результаты

На рис. 13 показана кинетика изнашивания задней поверхности фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (НВ=200, СОТС – «Унизор-М»). Здесь представлено следующее: график 1 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,а (предлагаемая полная структура); график 2 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,б (процесс только с напылением покрытия (Ti, Cr) N); график 3 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,в (предлагаемая не полная структура); график 4 для фрез без дополнительной обработки рис. 3,г (включающий только процесс анализа параметров фрез).

Анализируя графики рис. 13 можно отметить, что условно, при значении износа задней поверхности зубьев фрезы $h_3 = 0,4$ мм коэффициенты увеличения стойкости исследуемых групп фрез следующие:

$$k_{14} = \frac{T_1}{T_4} = 4,30; \quad k_{13} = \frac{T_1}{T_3} = 2,68; \quad k_{12} = \frac{T_1}{T_2} = 1,92;$$

$$k_{24} = \frac{T_2}{T_4} = 2,24; \quad k_{34} = \frac{T_3}{T_4} = 1,6,$$

где k_{ij} - коэффициент повышения стойкости i -й группы фрез относительно j -й группы; T_i - стойкость i -й группы фрез при значении износа задней поверхности зубьев фрезы $h_3 = 0,4$ мм (значение стойкости определяется по графикам рис. 13).

Выполненные экспериментальные исследования по определению стойкости работы фрез показали следующее:

- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями (Ti, Cr) N в 4,3 раза выше (график 1), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4);
- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями (Ti, Cr) N в 2,68 раза выше (график 1), чем стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев без покрытий (график 3);
- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями (Ti, Cr) N в 1,92 раза выше (график 1), чем стойкость обычных стандартных фрез с покрытиями (Ti, Cr) N (график 2);
- стойкость обычных стандартных фрез с покрытиями (Ti, Cr) N (график 2) в 2,24 раза выше (график 2), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4);
- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев без покрытий в 1,6 раза выше (график 3), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4).

Здесь можно отметить, что для испытываемых групп фрез для получения графиков дополнительно выполнялась обработка в соответствии со структурами технологическими процессами, приведенными на рис. 3.

На основании выполненного анализа стойкости исследованных групп фрез можно сделать важные выводы, что для фрез имеющих изменяющиеся параметры скорости резания по длине режущей кромки зуба выполнение переменных свойств режущих кромок зубьев и применение специальных покрытий обеспечивает существенное повышение стойкости инструмента. Для решения этих задач в данной работе разработано необходимое технологическое обеспечение.

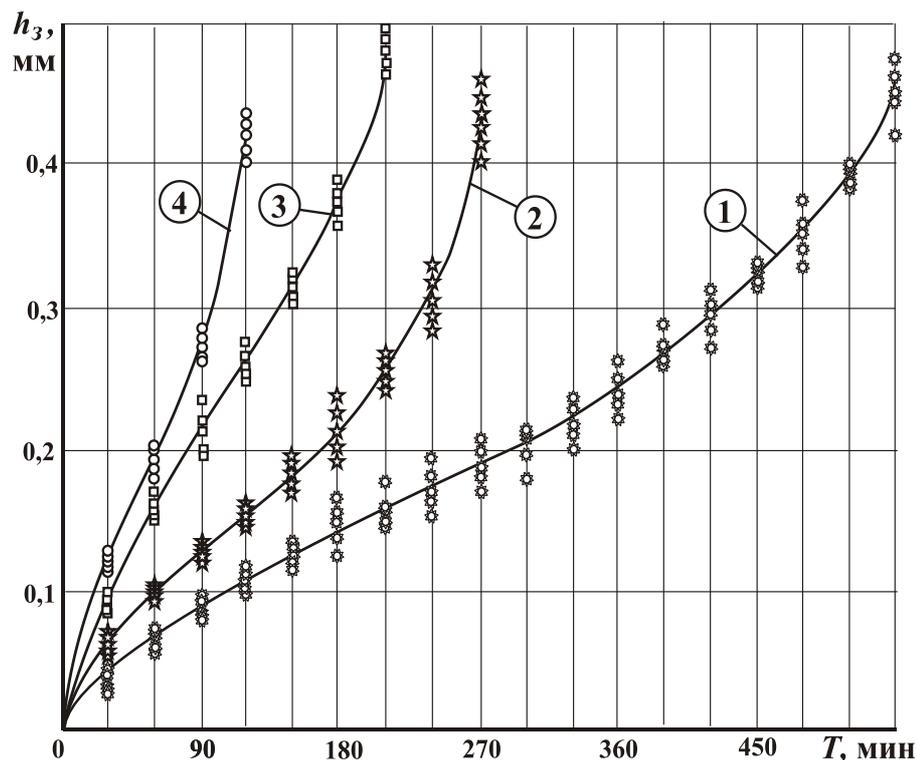


Рис. 13. Кинетика изнашивания задней поверхности фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45: 1 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,а; 2 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,б; 3 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,в; 4 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,г

Выводы и основные рекомендации

Выполненный анализ особенностей эксплуатации фрез с переменными параметрами скоростей резания по длине режущих кромок зубьев позволил установить, что износ режущих кромок зубьев по их длине происходит неравномерно с максимумами в зонах максимальных скоростей резания. При этом режущие кромки зубьев фрез работают не с полным потенциалом их возможностей, что снижает технико-экономические показатели эксплуатации таких фрез.

На основании выполненных исследований в данной работе разработан функционально-ориентированный технологический процесс и обеспечение для реализации изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от особенностей их эксплуатации (изменяющихся скоростей резания). А также разработано технологическое обеспечение, позволяющее повысить стойкость фрез и сохранить изменяющиеся свойства режущих кромок по их длине за счет специальных вакуумных ионно-плазменных покрытий и целого комплекса технологических операций.

Для установления эффективности предложенных мероприятий в работе разработана методика сравнительных испытаний нескольких групп фрез обработанных в соответствии с разработанными структурами технологических процессов. Проведенные сравнительные экспериментальные исследования по определению стойкости фрез позволили установить, что стойкость фрез, изготовленных в соответствии с предлагаемой технологией, выше, чем у стандартных фрез в 2,68 раза при применении специальных вакуумных ионно-плазменных покрытий и выше в 1,6 раза без применения покрытий.

Список літератури:

1. Прогресивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / [В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.] – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Краткий справочник металлста / Под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скорохова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.
3. Справочник инструментальщика / [И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987, - 846 с.
4. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / [А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
5. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов; под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.
6. Технологическое обеспечение повышения стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев / [Т.Т. Аль-Судани, Д.А. Михайлов, Е.А. Михайлова, А.Н. Михайлов, Р.М. Грубка] // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – 2012. - Вип. 1, 2 (43). - С. 24 - 36.
7. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
8. Чикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Чикс - М.: Мир, 1967. – 406 с.

Надійшла до редакції 14.01.2013.

Т.Т. Аль-Судани

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФРЕЗ ІЗ ЗМІННИМИ ШВИДКОСТЯМИ РІЗАННЯ ПО ДОВЖИНІ РІЖУЧОЇ КРОМКИ ЗУБА І ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТІЙКОСТІ

У даній статті приведені дані по підвищенню параметрів якості фрез із змінними швидкостями різання по довжині ріжучої кромки зубів, які ґрунтуються на забезпеченні параметрів властивостей ріжучої кромки, що змінюються, залежно від експлуатаційних функцій, що діють. Приведені структури технологічних процесів для забезпечення властивостей ріжучих кромок зубів фрез і підвищення параметрів якості фрез, що змінюються, в цілому. В роботі розроблена методика експериментальних досліджень стійкості фрез, оброблених відповідно до пропонованої технологією. Виконані порівняльні дослідження стійкості звичайних фрез та оброблених за спеціальним технологічним процесам.

Ключові слова: функціонально-орієнтована технологія, підвищення стійкості фрез, експериментальні дослідження.

T.T. Al-Sudani

QUALITY IMPROVEMENT OF MILLING CUTTER WITH VARIABLE CUTTING SPEED ALONG THE LENGTH OF TOOTH CUTTING EDGE AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THEIR RESISTANCE

This article presents data on the parameters of quality improvement of tools with variable cutting speed along the cutting edge of the teeth, which are based on changing the values of cutting edge properties, depending on the existing operational functions. We provide the structures of technological processes for changing the properties of the cutting edges of cutters' teeth and improving the cutters' quality parameters in general. The paper provides the methods for experimental studies of the resistance of cutters treated using the proposed technique. We compared the resistance of usual cutters and those treated according to certain technological processes.

Keywords: functional-oriented technology, increasing cutters' resistance, experimental research.