УДК 621.9.025

Т.Т. Аль-Судани, Д.А. Михайлов, Е.А. Михайлова,
А.Н. Михайлов, Р.М. Грубка
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; *E-mail:* tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩИХ КРОМОК ЗУБЬЕВ

Данная работа направлена на повышение стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев на базе композиционной технологии. Установлено, что основной причиной их низкой стойкости является неравномерная скорость резания по длине режущей кромки зуба фрезы, возникающая из-за ее конструктивных особенностей и особенностей обработки изделий. Предложено повышение стойкости фрез вести путем обеспечения изменяющихся параметров радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки инструмента. В работе установлены закономерности обеспечения этих параметров по длине режущей кромки инструмента. Сохранение заданных переменных параметров инструмента при эксплуатации выполнено на базе принципа консервации его геометрических параметров путем применения сверхпрочного композиционного покрытия. В целом повышение стойкости концевых фрез выполнено на базе комбинированной отделочной обработки и функционально-ориентированного подхода.

Ключевые слова: *фреза, повышение стойкости, комбинированные и функционально-ориентированные методы, композиционная технология.*

Введение

Для изготовления различных изделий машиностроения широко применяются технологические операции фрезерования. Для выполнения этих операций используются фрезы различных конструкций [1, 2, 3, 4]. Для обработки фасонных поверхностей, пазов типа «ласточкин хвост», радиусных пазов и других поверхностей применяются фрезы со специальной режущей частью (рис. 1). Именно эти фрезы имеют переменные скорости резания по длине режущей кромки зуба. На рис. 1 представлен общий вид

а) б)

Рис. 1. Общий вид различных вариантов фрез, на отдельных режущих кромках которых возникают переменные скорости резания: а – концевые фрезы; б – торцевые, угловые и пазовые фрезы

различных вариантов фрез, на отдельных режущих кромках которых возникают переменные скорости резания. Здесь показано: рис. 1,а – концевые фрезы; рис. 1,б – торцевые, угловые и пазовые фрезы

Переменные скорости резания на режущей кромке зуба фрез возникают из-за того, что по длине режущей кромки имеется переменный радиус от точки резания до оси вращения фрезы (рис.2). На рис. 2 представлены схемы концевых фрез с различными вариантами режущей части: на рис. 2,а – с угловой режущей частью; на рис. 2,б – с шаровой режущей частью; рис. 2,в – с модульной режущей частью; на рис. 2,г – перпендикулярное сечение А-А к режущей кромке фрезы; на рис. 2,д – вид А на торцевую часть фрезы. Представленные позиции обозначают следующее: 1 – рабочая часть фрезы, 2 – шейка фрезы, 3 – хвостовик фрезы, 4 – зуб боковой рабочей части фрезы, 5 – главная режущая кромка зуба фрезы, 6 – зуб торцевой рабочей части фрезы, 7 – вспомогательная режущая кромка зуба фрезы.

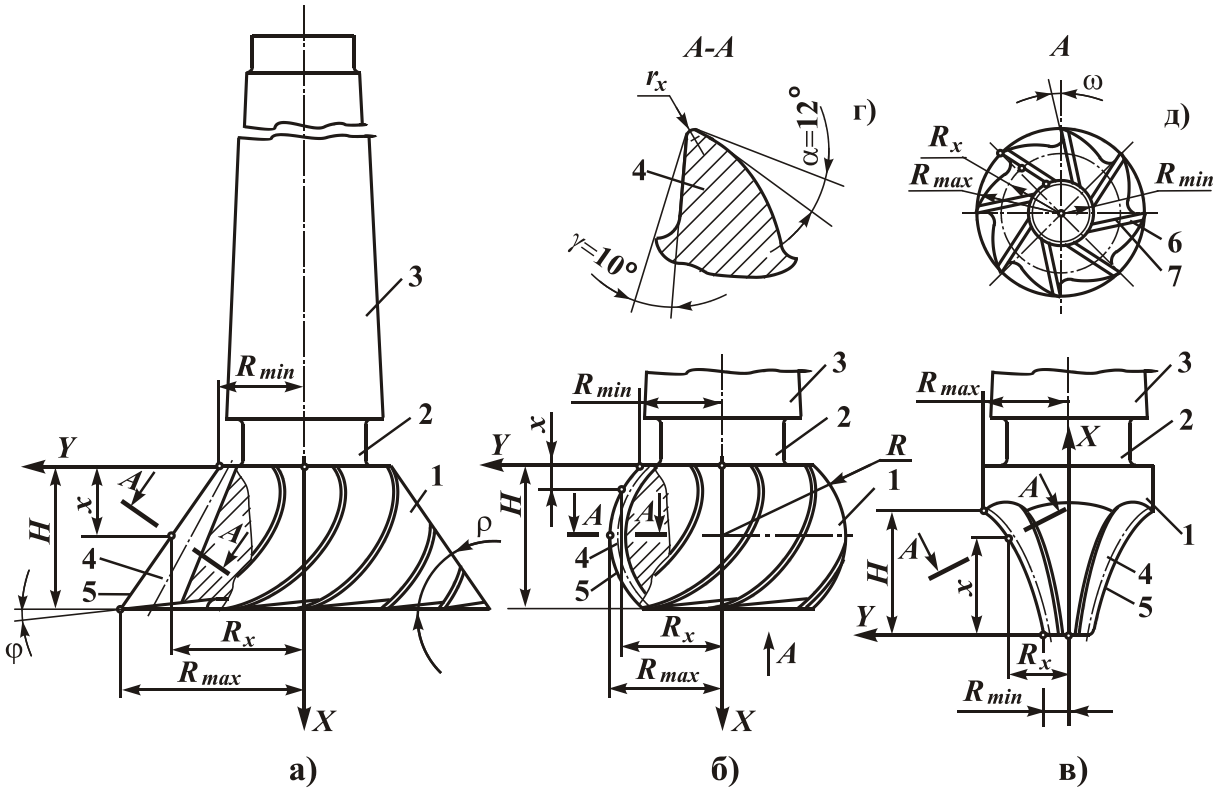

Рис. 2. Схемы концевых фрез с различными вариантами режущей части:
а – с угловой режущей частью; б – с шаровой режущей частью; в – с модульной режущей частью; г – перпендикулярное сечение *А-А* к режущей кромке фрезы; д – вид *А* на торцевую часть фрезы

Можно отметить, что в соответствии с рис. 2 переменные скорости резания возникают в точках, расположенных в сечениям по высоте x (рис. 2,а,б,в) боковой поверхности рабочей части и по радиусу R_x (рис. 2,д) торцевых поверхностей фрезы, причем как для концевых фрез, так и для торцевых, угловых и пазовых фрез (рис. 1). В связи с этим, именно у этих фрез возникают неравномерные износы режущих кромок зубьев по длине режущих кромок.

Выполненный анализ особенностей работы различных фрез (рис. 2) показал, что максимальная и минимальная скорости резания по длине режущей кромки зуба могут отличаться в 2 … 3 раза. На рис. 3 представлены графики изменения скорости резания по режущей кромке в зависимости от геометрических параметров фрезы: рис. 3,а – для угловой фрезы по сечениям *x*; рис. 3,б – для фрезы с шаровой режущей частью по сечениям *x*; рис. 3,в – для модульной фрезы по сечениям *x*; рис. 3,г – для торцевых режущих кромок по радиусу R_x. Анализ этих графиков подтверждает существенное различие максимально и минимальной скорости резания по длине режущей кромке зуба фрезы.

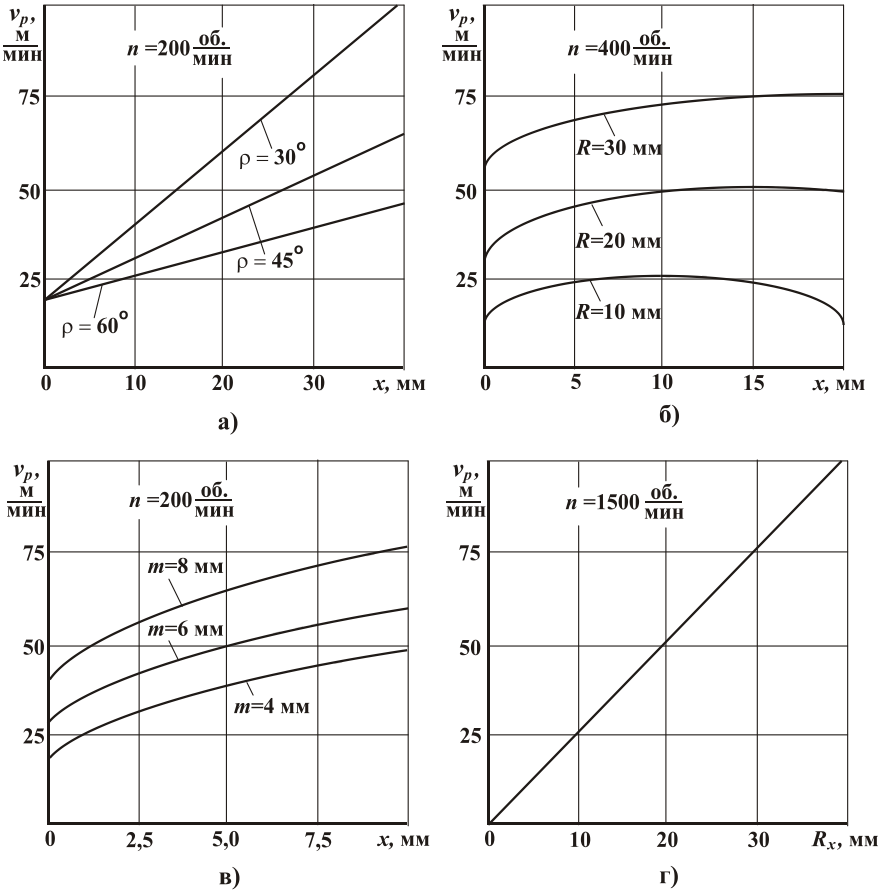

Рис. 3. Изменение скорости резания по режущей кромке в зависимости от геометрических параметров фрезы: а – для угловой фрезы по сечениям *x* (R_{min}=15 мм); б – для фрезы с шаровой режущей частью по сечениям *x*; в – для модульной фрезы по сечениям *x*; г – для торцевых режущих кромок по радиусу R_x

Это ведет к неравномерному изнашиванию зубьев по длине режущей кромки, что ведет к снижению стойкости фрезы в целом.

Линейная скорость резания по длине режущей кромки зуба фрезы в сечениях *x* определяется на основании следующих зависимостей:

- для угловой формы режущих участков боковой поверхности фрезы

$$R_x = R_{\min} + \frac{x}{tg\rho};$$

- для шаровой формы режущих участков боковой поверхности фрезы

$$R_x = R \cdot \cos \arcsin \frac{H - 2x}{2R};$$

- для эвольвентной формы режущих участков боковой поверхности фрезы

$$\left.\begin{aligned} R_x = y = r_в[\sin(\mu + \mu_c) - \mu\cos(\mu + \mu_c)]; \\ x = r_в[\cos(\mu + \mu_c) + \sin(\mu + \mu_c)], \end{aligned}\right\}$$

где R_x - радиус окружности до точки на режущей кромке зуба фрезы в сечении *x*;

ρ - угол наклона боковой стороны режущей части фрезы;

H – высота режущей части фрезы;

R – радиус окружности шаровой режущей части фрезы;

$r_в$ - радиус начальной окружности эвольвенты;

μ - параметрический угол эвольвенты.

Здесь, угол смещения эвольвенты определяется по следующей формуле:

$$\varphi_c = \frac{\pi}{2z} + inv\ \mu_w;$$

где $inv\ \mu_w$ - эвольвентный угол, соответствующий точке профиля на делительном цилиндре эвольвенты.

Неравномерность скорости резания по длине режущей кромки зуба вызывает неполное использование общего потенциала режущей способности фрезы, так как в местах с наибольшей скоростью резания при R_{max} происходит более быстрый износ режущей кромки, в то время как в местах с более низкой скоростью резания при R_{min} режущие кромки еще не изношены. Из-за этих особенностей происходит неравномерный износ зубьев по длине режущей кромки зуба, что в целом ведет к снижению их стойкости и уменьшению эксплуатационного потенциала режущей способности фрезы.

Для увеличения стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев и повышения эксплуатационного потенциала режущих кромок фрезы необходимо выполнение следующего:

1. Обеспечение переменных свойств функциональных элементов режущих зубьев фрезы.

2. Применение специальных технологий, обеспечивающих решение вопросов формирования свойств по функциональным элементам в процессе реализации технологических воздействий и в процессе эксплуатации фрезы.

Для решения этих вопросов необходимо применение специальных композиционных технологий [5], обеспечивающих и увеличение стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев, и повышение эксплуатационного потенциала режущих кромок фрезы в целом.

Целью данной работы является повышение стойкости фрез работающих в условиях переменных скоростей резания по длине режущих кромок зубьев, путем применения композиционной технологии, включающей комбинированные и функционально-ориентированные методы обработки, за счет обеспечения изменяющихся свойств функциональных элементов фрезы, консервирования их геометрических параметров и повышения функциональных свойств фрезы посредством специальных ионно-плазменных покрытий и формирования ее равного эксплуатационного потенциала функциональных элементов.

В соответствии с поставленной целью в работе планируется решить следующие основные задачи: выполнить анализ особенностей работы фрез с изменяющимися па-

раметрами скорости резания по длине режущей кромки зуба; предложить методы повышения стойкости фрез; разработать необходимое технологическое обеспечение на основе принципов композиционных технологий; выполнить экспериментальные исследования особенностей работы фрез обработанных на базе отделочной композиционной технологии.

Эти задачи решаются в данной работе.

Предварительные исследования и предложения

Для анализа влияния радиуса закругления режущего клина зуба и скорости резания на стойкость фрезы, в работе выполнены следующие экспериментальные исследования:

1. По определению стойкости фрез в зависимости от радиуса режущего клина зуба.

2. По определению зависимости стойкости фрезы от скорости резания.

3. По определению зависимости стойкости фрезы одновременно от радиуса режущего клина зуба и скорости резания.

Эти исследования необходимы для определения особенностей изменения радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы в зависимости от радиуса до продольной оси вращения фрезы. А также в дальнейшем для обеспечения этих параметров по длине режущих кромок фрезы для повышения их стойкости.

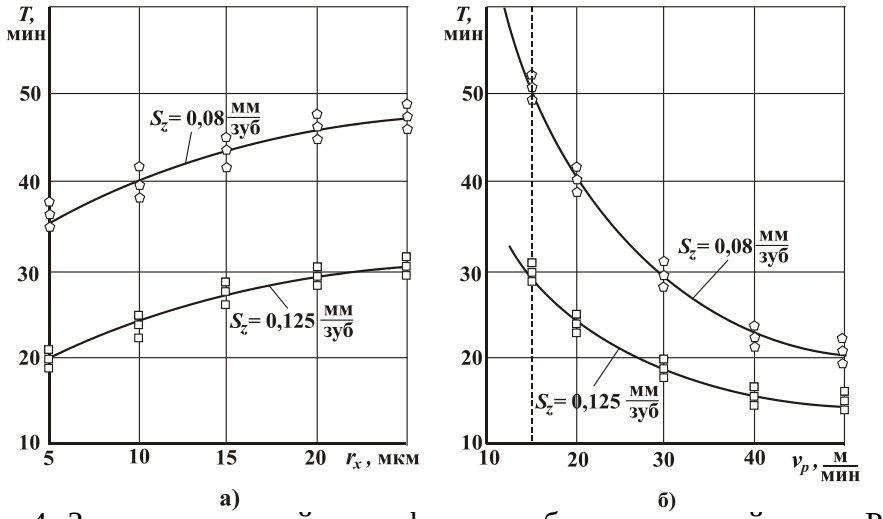

Рис. 4. Зависимость стойкости фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (НВ=220, t=1 мм) от некоторых параметров (обработка без СОТС):
а – от радиуса режущего клина зуба (v_p=20 м/мин); **б** – от скорости резания (r_x=10 мкм)

На рис 4 представлена зависимость стойкости фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (НВ=220, t=1 мм) от некоторых параметров: на рис. 4,а – от радиуса режущего клина зуба (v_p=20 м/мин); на рис. 4,б – от скорости резания (r_x=10 мкм). Анализируя зависимость рис. 4,а можно отметить, что с увеличением радиуса режущего клина (в определенных пределах) приблизительно от 5 мкм до 25 мкм стойкость фрезы возрастает. Это обусловлено тем, что при малом радиусе кривизны режущего клина 5 мкм стойкость фрез ниже из-за отсутствия притупления режущей кромки, что ведет к снижению стойкости фрезы из-за разрушения острозаточенного режущего клина при нагружении. При этом при фиксированных значениях радиуса закругления режущего клина, например r_x=10 мкм, с увеличением скорости резания в пределах v_p=10 …50 м/мин стойкость фрезы уменьшается. Это связано с увеличением интенсив-

ности изнашивания поверхностного слоя режущего клина фрезы. Данные исследования выполнялись в процессе обработки фрезами из быстрорежущей стали Р6М5 деталей из стали 45 (НВ 220), глубина резания t=1 мм с подачами на зуб S_z = 0,08 мм/зуб и S_z = 0,125 мм/зуб.

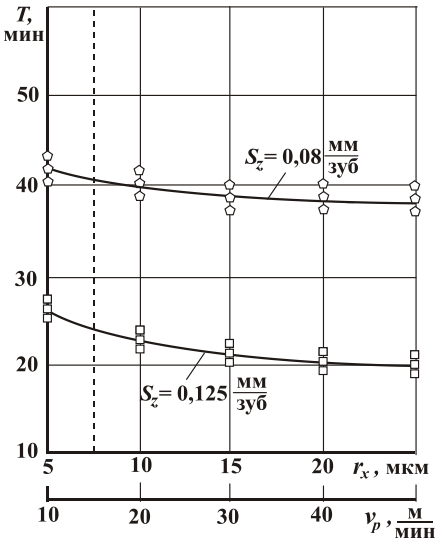

Рис. 5. Зависимость стойкости фрезы при одновременном изменении радиуса режущего клина зуба и скорости резания

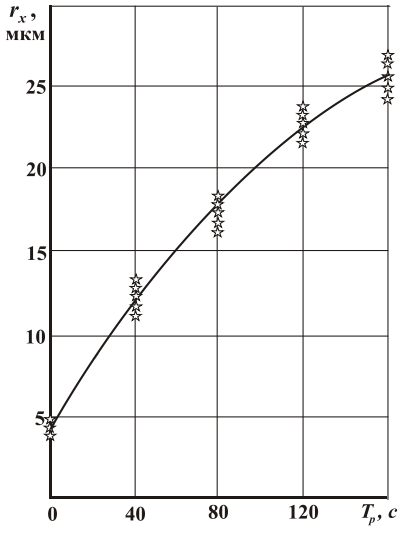

Рис. 6. Влияние длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина

На рис. 5 представлена зависимость стойкости фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (НВ=220, t=1 мм) при одновременном изменении радиуса режущего клина зуба и скорости резания. Экспериментальные исследования выполнялись для подач на зуб S_z = 0,08 мм/зуб и S_z = 0,125 мм/зуб по 3 замерам в каждом случае. При этом количество участвующих в эксперименте фрез определено в соответствии с основными положениями теории эксперимента.

В работе выполнены экспериментальные исследования по установлению зависимости длительности пневмоструйной обработки на изменение радиуса режущего клина зуба фрезы. На рис. 6 представлена зависимость влияния длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина (абразив F60, давление воздуха 0,6 МПа, диаметр сопла 3,0 мм, расстояние от сопла до кромки фреза 15 мм. Эти исследования выполнены для определения параметров дальнейшего обеспечения изменяющихся параметров радиуса режущего клина по длине режущей кромки фрезы.

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

- изменение радиуса режущего клина 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.

Анализ полученных результатов позволил установить следующее:

1. Для обеспечения равномерного изнашивания зубьев фрезы по длине режущей кромки необходимо выполнение изменяющегося радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба [5]. Это возможно в условиях применения функцио-

нально-ориентированного подхода [6]. При этом выполнение неравномерных параметров свойств необходимо выполнять не только для радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба, но и для передней и задней поверхностей (поверхностного слоя) зуба фрезы.

2. При эксплуатации фрезы в процессе обработки изделия переменные геометрические параметры радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба быстро изменяются из-за его износа. Для сохранения этих параметров на более длительный срок и повышения стойкости фрез необходимо консервировать их за счет применения сверхпрочных покрытий. В этом случае необходимо применять комбинированные методы технологических воздействий [7], связанные с подготовкой поверхностей фрезы к нанесению покрытий, нанесению покрытий и обработке поверхностей после нанесения покрытий.

3. Совместное применение комбинированных методов обработки и функционально-ориентированного подхода для повышения стойкости фрез представляет собой композиционную технологию [8]. Для реализации композиционной технологии необходимо выполнение некоторых дополнительных исследований.

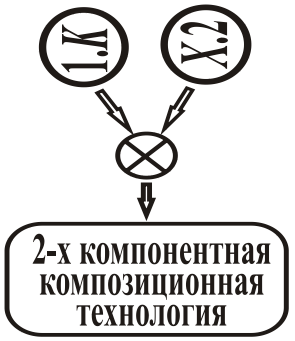

Рис. 7. Структура 2-х компонентной композиционной технологии:
1.*K* - комбинированная технология; *X*.2 - функционально-ориентированная технология; ⊗- знак композиции

Общий подход и предлагаемые направления исследований

Выполненные предварительные исследования и полученные результаты позволили сформировать структуру композиционного технологического процесса [8] отделочной обработки фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки. Структура композиционного технологического процесса базируется на композиции 2-х технологий (рис. 7) в зависимости от их значимости:

- комбинированного технологического процесса 1.*K*;
- функционально-ориентированного технологического процесса *X*.2.

В целом композиционная технология (рис.7) основывается на следующих принципах композиции:

- единства и общности технологий;
- совместимости соединяемых технологий;
- гибридизации технологий;
- обеспечения новых методов технологических воздействий и новых принципов преобразования свойств.

Можно отметить, что в композиционной технологии комбинированный технологический процесс [7] формируется совместно с функционально-ориентированным технологическим процессом [6]. Здесь, структура композиционного процесса строится на базе графов функциональных элементов фрезы по трем уровням деления, представленного на рис. 8 и рис. 9. На базе структуры этих функциональных элементов составляется структура композиционной технологии.

На рис. 8 и рис. 9 приведены графы функциональных элементов фрез по трем уровням деления, выполненного на основании функционально-ориентированного подхода [6]. В данном случае процесс деления фрез на функциональные элементы выполнен на основании структуры действующих на фрезу эксплуатационных функций. После

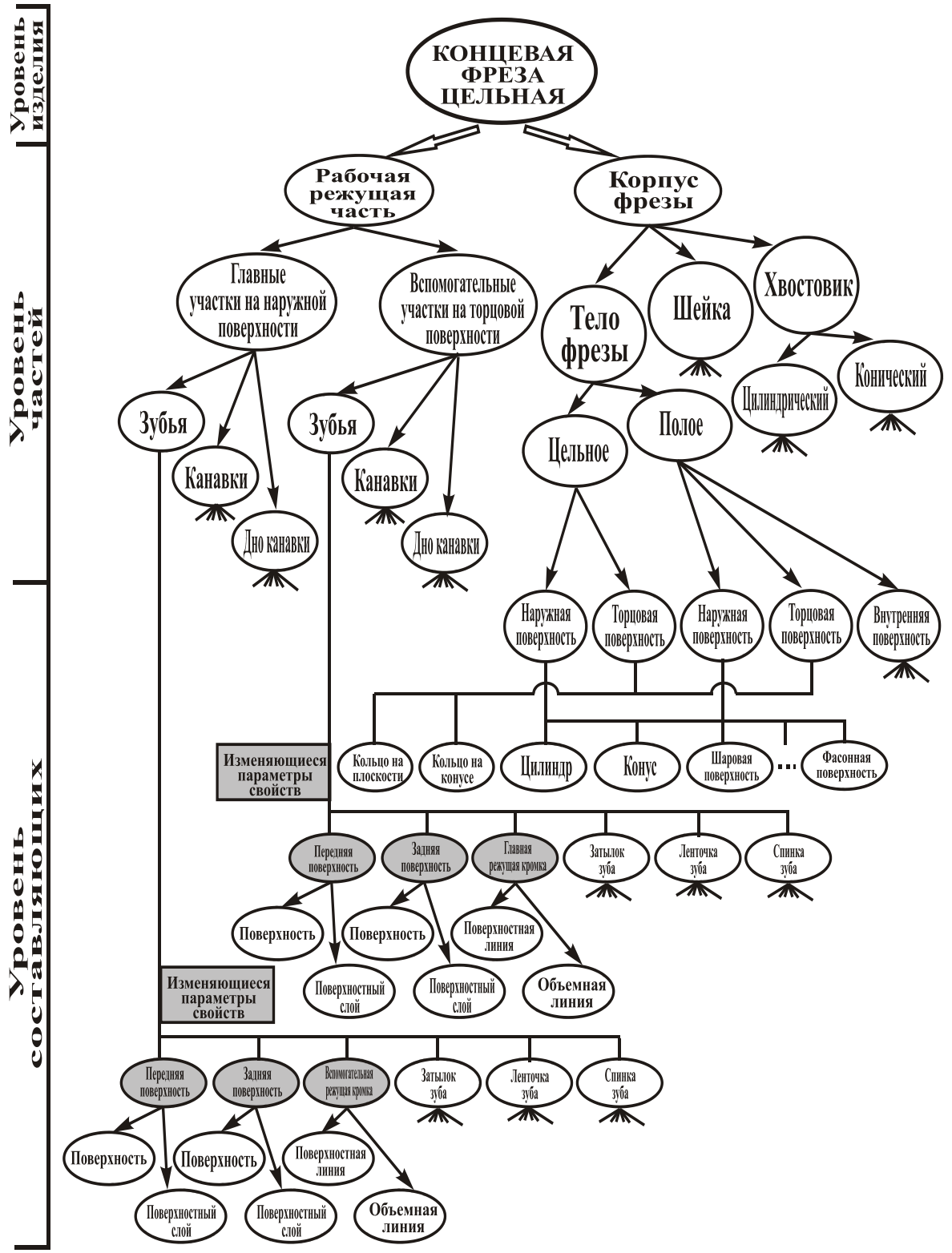

Рис. 8. Граф функциональных элементов концевой фрезы цельной по трем уровням деления

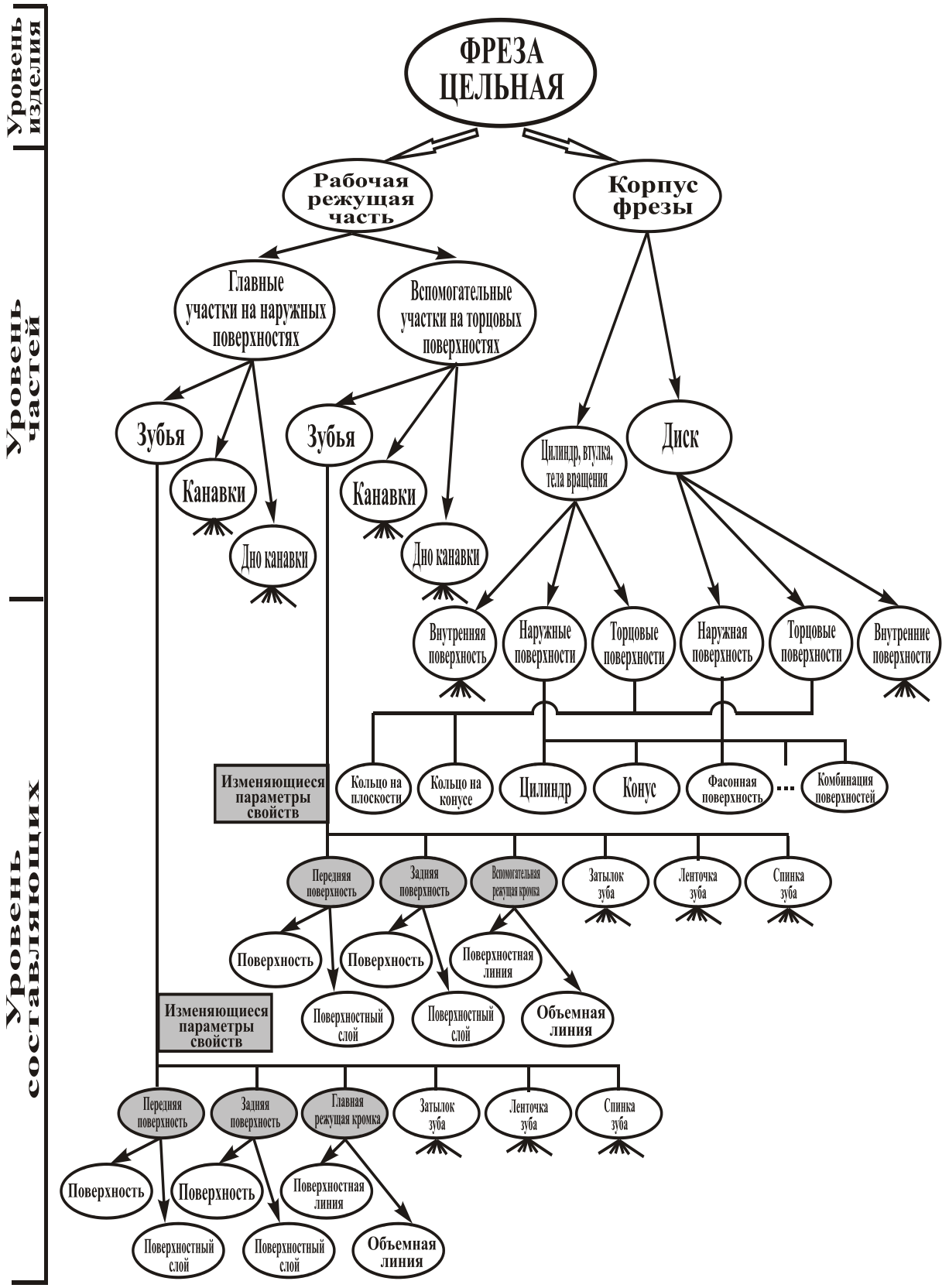

Рис. 9. Граф функциональных элементов фрезы цельной по трем уровням деления

деления фрезы на функциональные элементы разрабатывается функционально-ориентированный технологический процесс.

Выполненный анализ зависимостей, приведенных на графиках рис. 4 и рис. 5 позволил 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. При этом заданные свойства фрез реализованы на основании целого комплекса технологических операций на бузе комбинированных методов и функционально-ориентированного подхода.

Технологическое обеспечение, полученные результаты и рекомендации

Основные этапы реализации композиционной технологии следующие:

1. Формирование изменяющихся свойств функциональных элементов фрезы (передняя поверхность, задняя поверхность, главная режущая кромка на зубьях главных участков на наружной поверхности фрезы; передняя поверхность, задняя поверхность, вспомогательная режущая кромка на зубьях вспомогательных участков на торцевой поверхности фрезы) (рис. 8 и рис. 9). Здесь можно отметить, что изменяющиеся свойства функциональных элементов выполнялись с помощью пневмоструйной обработки. При этом изменяющийся радиус закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы выполнен в соответствии с зависимостью (1) на основании графика рис. 6 с помощью установки для пневмоструйной обработки фрез (рис. 10). 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. 10 показан общий вид установки для пневмоструйной абразивной обработки фрез. С помощью этой пневмоструйной установки выполнена обработка главных и вспомогательных режущих кромок, передних и задних поверхностей фрез.

Рис. 10. Общий вид установки для пневмоструйной обработки фрез

2. 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, представленные на рис. 11.

а) б)

Рис. 11. Общий вид специального оборудования для подготовки фрез к нанесению покрытий:
а - полировальный станок;
б – ультразвуковая установка

На рис. 11 показан общий вид специального оборудования для подготовки фрез к нанесению покрытий: рис. 11,а - полировальный станок; рис. 11,б – ультразвуковая установка.

3. Процесс консервирования изменяющихся параметров свойств выполнен с помощью специального ионно-плазменного покрытия, синтезированного на основе следующих материалов Ti-19Al-3Si-1Y(катоды) и азота (реакционный газ). Нанесение покрытия выполнялось с помощью вакуумной ионно-плазменной установки ННВ 6.6-И1 (рис. 12). На рис. 12 представлен общий вид вакуумной ионно-плазменной установки для нанесения покрытий.

Рис. 12. Общий вид вакуумной ионно-плазменной установки для нанесения покрытий

4. Обработка функциональных элементов фрезы после нанесения композиционного покрытия выполнялась с реализацией следующих операций: доводка, полировка, глянцевание покрытия.

Для определения стойкости фрез, обработанных с применением композиционной технологии, в работе выполнены сравнительные экспериментальные исследования стойкости фрез с режущей частью типа «ласточкин хвост» (рис. 13). Сравнительным испытаниям подвергались фрезы со следующими особенностями обработки режущей части:

1. Фрезы без покрытия и без композиционной обработки (обычные заводские фрезы без дополнительной обработки).

2. Фрезы с покрытием, но без композиционной обработки (обычные заводские фрезы с нитрид титановым покрытием).

3. Фрезы с композиционной обработкой.

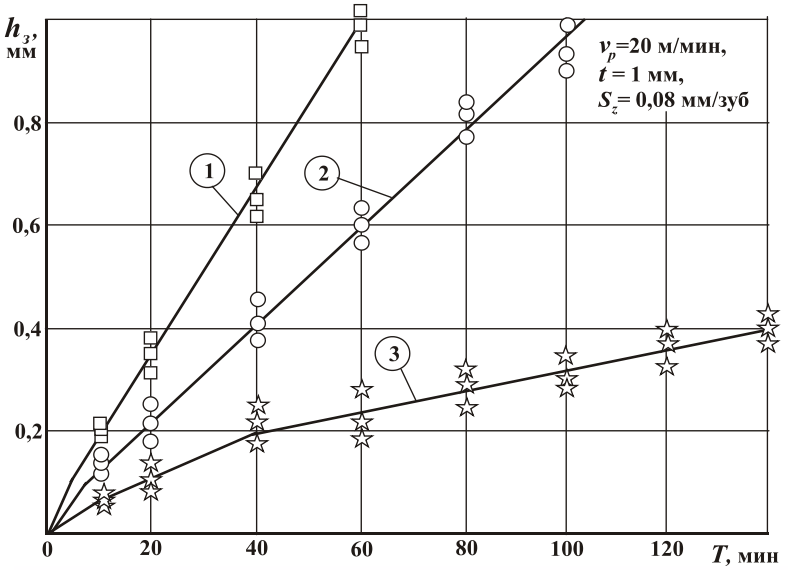

Рис. 13. Кинетика изнашивания задней поверхности концевых фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45: 1 – инструмент без покрытия; 2 – инструмент с покрытием; 3 – инструмент, обработанный на базе композиционной технологии

На рис. 13 показана кинетика изнашивания задней поверхности концевых фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (НВ=220, СОТС – «Унизор-М»). Здесь показано следующее: 1 – инструмент без покрытия; 2 – инструмент с покрытием (стандартное нитрид титановое покрытие); 3 – инструмент, обработанный на базе композиционной технологии.

Выполненные экспериментальные исследования по определению стойкости работы фрез показали (рис. 13), что стойкость фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при применении композиционной технологии увеличилась в 5,6 раз (графики 1 и 3) по сравнению с аналогичными фрезами без покрытий и дополнительной обработки, и в 3,4 раза по сравнению с фрезами с покрытиями из нитрид титана, изготовленных по обычной технологии (графики 2 и 3).

Проведенные исследования позволили установить, что применение композиционной технологии для фрез, имеющих переменную скорость резания по длине режущих кромок, обеспечивает значительное повышение их стойкости.

Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили решить следующие задачи:

1. Установлено, что основной причиной низкой стойкости фрез является неравномерная скорость резания материала по длине режущей кромки зуба фрезы, возникающая из-за ее конструктивных особенностей и особенностей обработки изделий.

2. Предложено повышение стойкости фрез вести путем обеспечения изменяющихся параметров радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки инструмента. В работе установлены закономерности обеспечения этих параметров по длине режущей кромки инструмента.

3. Предложено сохранение заданных переменных параметров инструмента при эксплуатации выполнять на базе принципа консервации его геометрических параметров путем применения сверхпрочного композиционного покрытия.

4. Композиционная технология обеспечивает повышение стойкости фрез 5,6 раз по сравнению с аналогичными фрезами без покрытий и дополнительной обработки, и в 3,4 раза по сравнению с фрезами с нитрид титановыми покрытиями, изготовленных по обычной технологии.

Список литературы:

1. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.

2. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

2. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

3. 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.

4. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов; под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.

5. Патент / Михайлов А.Н., Маджид, Аль-Судани.

6. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

7. Физико-технологические основы методов обработки / под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 409 с.

8. Михайлов А.Н. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов, Е.А. Михайлова, Д.А. Михайлов // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 713. – С. 23 - 31.

Надійшла до редколегії 09.02.2012.

Т.Т. Аль-Судані, О.М. Михайлов, Д.О. Михайлов, О.О. Михайлова

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ФРЕЗ ЗІ ЗМІННИМИ ШВИДКОСТЯМИ РІЗАННЯ ПО ДОВЖИНІ РІЗАЛЬНИХ КРОМОК ЗУБІВ

Ця робота спрямована на підвищення стійкості фрез зі змінними швидкостями різання по довжині різальних кромок зубів на базі композиційної технології. Встановлено, що головною причиною їх низької стійкості є нерівномірна швидкість різання по довжині різальної кромки зуба фрези, що виникає через її конструктивні особливості та особливості обробки виробів. Запропоновано підвищення стійкості фрез вести шляхом забезпечення параметрів радіусу закруглення різального клину, що змінюються, по довжині різальної кромки інструменту. У роботі встановлені закономірності забезпечення цих параметрів по довжині різальної кромки інструменту. Збереження заданих змінних параметрів інструменту при експлуатації виконане на базі принципу консервації його геометричних параметрів шляхом застосування надміцного композиційного покриття. В цілому підвищення стійкості кінцевих фрез виконане на базі комбінованої обробної обробки і функціонально-орієнтованого підходу.

Ключові слова: *фреза, підвищення стійкості, композиційна і функціонально-орієнтована технологія, комбіновані методи обробки.*

T.T. Al-Sudani Tarafa, A.N. Mikhaylov, D.A. Mikhaylov, E.A. Mikhaylova

TECHNOLOGICAL PROVIDING OF INCREASE OF FIRMNESS OF MILLING CUTTERS WITH VARIABLE SPEEDS OF CUTTING ON LENGTH OF CUTTING EDGES OF POINTS

Hired sent to the increase of firmness of milling cutters with variable speeds of cutting on length of cutting edges of points on the base of composition technology. It is set that principal reason of their subzero firmness is uneven speed of cutting on length of cutting edge of tooth of milling cutter, arising up from her structural features and features of treatment of wares. It is suggested to conduct the increase of firmness of milling cutters by providing of changing parameters of radius of rounding of cutting wedge on length of cutting edge of instrument. Conformities to law of providing of these parameters are in-process set on length of cutting edge of instrument. Maintenance of variable preset parameter of instrument during exploitation is executed on the base of principle of preservation of his geometrical parameters by application super of durable composition coverage. Maintenance of variable preset parameter of instrument during exploitation is executed on the base of principle of preservation of his geometrical parameters by application super of durable composition coverage. On the whole the increase of firmness of end-capping milling cutters is executed on the base of the combined finishing treatment and functionally-oriented approach.

Keywords: *milling cutter, increase of firmness, composition and functionally-oriented technology, combined methods of treatment.*