

ВЕСТНИК

Белорусско-Российского университета

*Научно-методический журнал
Издается с октября 2001 г.*

Периодичность – 4 раза в год

3(56) 2017

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- ЖИГАЛОВ А. Н.** Влияние износа твердых сплавов, упрочненных аэродинамическим воздействием, на шероховатость обработанной поверхности при фрезерно-карусельном резании 5
- ЖОЛОБОВ А. А., КАЗАКОВ А. В., БОЯРКО Д. В.**
Структурная оптимизация токарной операции растачивания при формировании ступенчатых отверстий 16
- КАПИТОНОВ А. В., САСКОВЕЦ К. В., КАСЬЯНОВ А. И.**
Планетарная радиально-плунжерная передача с улучшенными эксплуатационными характеристиками 27
- КАРТАШЕВИЧ А. Н., ПЛОТНИКОВ С. А., МАЛЫШКИН П. Ю.,
КУРЗЕНКОВ С. В.** Метод расчета и проектирования дизеля с наддувом, охладителем надувочного воздуха с системой подачи газового топлива 35
- КИСЕЛЕВ М. Г., ГАБЕЦ В. Л., БОГДАН П. С.,
СЕМЕНКОВИЧ В. П.** Восстановление режущей способности изношенной рабочей поверхности стальных и твердосплавных зубных боров путем ее электроэрозионной обработки 45
- КОРОТЕЕВ А. О., КУЛИКОВ В. П., ДОЛЯЧКО В. П.**
Моделирование газодинамических процессов в защитной атмосфере дуги при сварке в смеси коаксиально подаваемых газов 54

КОРОТЕЕВ А. О., КУЛИКОВ В. П., ДОЛЯЧКО В. П. Особенности выбора сварочных проволок при дуговой сварке в среде $Ar + CO_2$ с двухструйной коаксальной подачей защит- ных газов в зону горения дуги	65
ЛУСТЕНКОВ М. Е., МАКОВЕЦКИЙ И. И., ЛУСТЕНКОВА Е. С., МАШИН Ю. В., КОМАР В. Л. Сравнительный анализ раз- личных типов центровых кривых кулачковых профилей сфе- рических роликовых передач	74
МРОЧЕК В. И., МРОЧЕК Т. В., ПУЗИКОВ А. И. Анализ рынка фронтальных погрузчиков в России	83
РОГАЧЕВСКИЙ Н. И. Исследование энергосберегающего привода стрелы шлагбаума с улучшенными характеристиками	88
ТАРАСИК В. П. Частотные характеристики мехатронной системы управления фрикционами переключения передач автоматической трансмиссии автомобиля	99

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

ГОМОН С. С., ПАВЛЮК А. П. Работа балок из цельной и клееной древесины при косом изгибе	111
НАСТОЯЩИЙ В. А., СИДЕЙ В. Н. Вероятностная оценка долговечности строительной керамики по критерию потери морозостойкости методом статистического моделирования	122
ПАШИНСКИЙ В. А., ПЛОТНИКОВ О. А. Вероятностная методика анализа тепловой надежности узлов ограждающих конструкций	129

ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЛИВИНСКАЯ В. А., КОМАРОВА С. Л. Обработка резуль- татов вступительной кампании Белорусско-Российского уни- верситета с помощью пакета STATISTICA MS	136
ПУЗАНОВА Т. В., ДРОЗДОВА И. О. Применение матричных методов для разработки стратегии развития технологического парка	145

- Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам
- Публикуемые материалы рецензируются
- Подписные индексы: для индивидуальных подписчиков – 00014
для предприятий и организаций – 000142

CONTENTS

MECHANICAL ENGINEERING

JIGALOV A. N. Effect of wear of aerodynamically strengthened hard alloys on roughness of processed surfaces during milling-rotary cutting	5
ZHOLOBOV A. A., KAZAKOV A. V., BOYARKO D. V. Structural optimization of boring operation in formation of stepped holes	16
KAPITONOV A. V., SASKOVETS K. V., KASYANOV A. I. Radial plunger planetary gearing with improved operating characteristics	27
KARTASHEVICH A. N., PLOTNIKOV S. A., MALYSHKIN P. Y., KURZENKOV S. V. Method for calculation and design of a supercharged diesel engine with a charge air cooler and system of gas fuel supply	35
KISELEV M. G., GABETS V. L., BOGDAN P. S., SEMENKOVICH V. P. Recovery of cutting capacity of worn steel and carbide dental burs by their electroerosion treatment	45
KOROTEYEV A. O., KULIKOV V. P., DOLYACHKO V. P. Modeling of gas-dynamic processes in protective atmosphere around the arc during welding in the mixture of coaxially supplied gases.....	54
KOROTEYEV A. O., KULIKOV V. P., DOLYACHKO V. P. Characteristics of the selection of welding wire for arc welding in Ar + CO ₂ with two-jet coaxial supply of shielding gases to the ARC zone	65
LUSTENKOV M. E., MAKOVETSKY I. I., LUSTENKOVA E. S., MASHIN Y. V., KOMAR V. L. Comparative analysis of various types of center curves of cam profiles in spherical roller transmissions	74
MROCHEK V. I., MROCHEK T. V., PUZIKOV A. I. Analysis of front-end loader market in Russia	83
ROGACHEVSKY N. I. Investigation of energy-saving drive with improved characteristics for a barrier gate boom	88
TARASIK V. P. Frequency characteristics of the mechatronic control system for friction clutches in the gearshift mechanism of automobile automatic transmission	99

CIVIL ENGINEERING. ARCHITECTURE

GOMON S. S., PAVLUK A. P. Working peculiarities of solid and glued laminated wood beams under the effect of slanting bend	111
NASTOYASHCHY V. A., SIDEI V. N. Probabilistic estimation of construction ceramics durability based on the frost resistance criterion using the method of statistical modeling	122
PASHYNSKYI V. A., PLOTNIKOV O. A. Probabilistic method for analyzing thermal reliability of units of enclosing structures	129

ECONOMICS. ECONOMIC SCIENCES

LIVINSKAYA V. A., KOMAROVA S. L. Processing the results of admission process at the Belarus-Russian university using the STATISTICA MS package	136
PUZANOVA T. V., DROZDOVA I. V. Use of matrix methods to elaborate development strategy for the technology park	145

УДК 621.923.4

А. Н. Жигалов

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ, УПРОЧНЕННЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ, НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРНО-КАРУСЕЛЬНОМ РЕЗАНИИ

UDC 621.923.4

A. N. Jigalov

EFFECT OF WEAR OF AERODYNAMICALLY STRENGTHENED HARD ALLOYS ON ROUGHNESS OF PROCESSED SURFACES DURING MILLING-ROTARY CUTTING

Аннотация

Рассмотрены особенности образования шероховатости при фрезерно-карусельном резании твердыми сплавами. Изложены принципы механизма аэродинамического упрочнения твердых сплавов. Приведены результаты исследований влияния времени работы твердых сплавов, обработанных методом аэродинамического упрочнения, и их изнашивания на шероховатость обработанных поверхностей. Установлены особенности образования шероховатости поверхностей при обработке твердыми сплавами, упрочненными аэродинамическим воздействием.

Ключевые слова:

шероховатость, фрезерно-карусельное резание, твердые сплавы, аэродинамическое упрочнение.

Abstract

The formation of roughness during milling-rotary cutting with hard alloys is considered. The mechanism of aerodynamic strengthening of hard alloys is described. The paper presents the results of studies on the effect of cutting time and wear of hard alloys subjected to aerodynamic strengthening on the roughness of processed surfaces. Specific features of surface roughness formed during processing with hard alloys strengthened by aerodynamic impact are stated.

Key words:

roughness, milling-rotary cutting, hard alloys, aerodynamic hardening.

Особенности образования шероховатости при фрезерно-карусельном резании

Шероховатость обработанной поверхности оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей. Шероховатость поверхностей измеряется и устанавливается на основании стандарта ISO 1302:2002, который с учетом принятых Межгосударственным

советом по стандартизации, метрологии и сертификации изменений заменил ГОСТ 2.309–73.

Основными параметрами определения шероховатости поверхности, согласно ГОСТ 25142–82, для наиболее распространенных машиностроительных технологий являются параметры Ra – среднее арифметическое отклонение профиля (среднее арифметическое абсолютных значений от-

клонений профиля в пределах базовой длины) и Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам (сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин в пределах базовой длины). ГОСТ 2789–73 устанавливает параметры в пределах: $Ra = 0,008...100$ мкм; $Rz = 0,025...1600$ мкм. Для лезвийной обработки между высотными параметрами Ra и Rz существует следующая корреляционная зависимость: $Rz = 5Ra$.

По данным ряда справочников, рекомендуемые параметры шероховатости при торцовом фрезеровании плоскостей находятся в следующих диапазонах: предварительное – $Rz = 160; 80; 40; 20$ мкм; чистовое – $Rz = 20$ мкм и $Ra = 2,5; 1,25$ мкм; тонкое – $Ra = 1,25; 0,63$ мкм.

Величина шероховатости при фрезеровании зависит от большого количества факторов: геометрических параметров режущей части инструмента (уменьшение главного ϕ и вспомогательного ϕ_1 углов в плане способствует снижению шероховатости [1]) и его состояния (затупления, наличие микронеровностей, сколов увеличивает шероховатость [8]); схемы фрезерования (встречное фрезерование обеспечивает меньшую высоту остаточного сечения, чем попутное; для выпуклой поверхности кривизна уменьшает высоту шероховатости, а для вогнутой – увеличивает [2]), радиуса фрезы (при малых радиусах фрезы шероховатость увеличивается [2]); радиуса закругления режущей кромки инструмента (при малых подачах незначительно влияет на шероховатость, при больших подачах свыше 0,2 мм/об шероховатость увеличивается более интенсивно); траектории движения режущего инструмента относительно детали (при фрезерно-карусельном резании шероховатость увеличивается); режимов обработки (при возрастании скорости резания шероховатость сначала увеличивается из-за явления актив-

ного образования нароста на режущей части, а затем уменьшается; при увеличении подачи на зуб s_z шероховатость увеличивается [8]); точности изготовления фрезы и, в частности, биения зубьев фрезы (согласно ГОСТ 2789–73 в концевых фрезах радиальное биение между двумя смежными зубьями равно 30 мкм, а для двух противоположных зубьев – 60 мкм [1, 4]), состояния технологической системы станок–инструмент (недостаточная жесткость системы порождает вибрации и, соответственно, повышается шероховатость, образуется волнистость на поверхности [5]); размеров и состояния обрабатываемого материала (при малых размерах заготовок шероховатость увеличивается; при повышении содержания углерода в стали обрабатываемая поверхность достигается с меньшей шероховатостью [2]); физико-механических свойств поверхностного слоя заготовок (в поверхностном слое заготовок из стали, полученных ковкой, литьем или прокатом, имеется поверхностный обезуглероженный слой, который является более чувствительным к воздействию тепловых и силовых факторов в процессе обработки; при механической обработке деформация поверхностного слоя сопровождается его упрочнением, возникновением в нем растягивающих напряжений, что оказывает влияние на шероховатость); применения СОЖ (уменьшает шероховатость) и др.

Из-за того, что при фрезеровании происходит снятие большого количества стружки благодаря участию в работе многолезвийного инструмента, а также с учетом того, что на шероховатость обработанной поверхности оказывает влияние практически один режущий зуб фрезерного инструмента, который из-за погрешностей изготовления самого инструмента и режущего элемента, его заточки, биения шпинделя станка, оправки инструмента, дисбаланса корпуса фрезы и других конструкторских и технологических погрешно-

стей имеет наиболее худшие условия резания (снимает наибольший припуск, работает с большими силами резания, с ударами из-за прерывистости обработки и др.), как правило, процесс фрезерования относится к процессам черновой обработки, при которых обеспечивается шероховатость большой величины. На основании этого оценивать достигаемую шероховатость обработанной поверхности для процесса фрезерования наиболее целесообразно посредством параметра Rz .

На рис. 1 представлена схема образования шероховатости при фрезеровании. Формообразование шероховатости при фрезерном резании происходит за счет двух движений режущего лезвия: вращения вокруг оси фрезы и прямолинейного движения с подачей s_z . При этом в начале резания, когда износ режущего лезвия отсутствует, срезается слой ме-

талла по траектории $A-B-C-D$ вместо теоретически расчетной $A-B-C-E$. В результате остается часть металла сечением $A-D-E$, которая и образует шероховатость поверхности с высотой неровностей профиля величиной Rz .

Значение подачи на зуб s_z из рис. 1

$$s_z = AE = AF + FE. \quad (1)$$

Из треугольников ADF и EDF определим следующее:

$$AF = Rz \cdot \operatorname{ctg} \varphi_1;$$

$$FE = Rz \cdot \operatorname{ctg} \varphi. \quad (2)$$

После подстановки (2) в (1) получим

$$Rz = \frac{s_z}{\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi}. \quad (3)$$

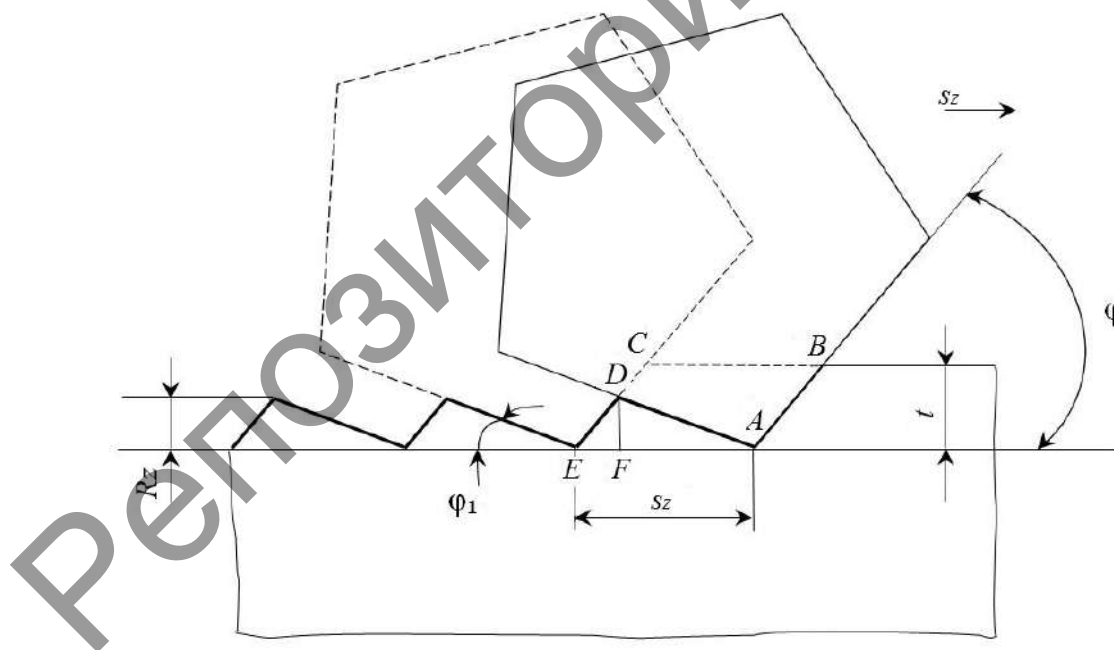


Рис. 1. Схема образования шероховатости при фрезерном резании

Как видно из формулы (3), описывающей геометрические причины образования шероховатости, и рис. 1, на величину Rz оказывают влияние такие параметры, как подача на зуб s_z

и углы в плане φ и φ_1 . Параметр Rz уменьшается при уменьшении подачи s_z и углов в плане φ и φ_1 . При этом глубина резания t не влияет на высоту неровностей Rz .

Описание метода аэродинамического упрочнения

Для повышения стойкости твердых тел, в том числе и твердых сплавов, представляющих собой гетерогенные композиции, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, сцементированных кобальтовой связкой, работающих в тяжелых технологических условиях с переменной ударной нагрузкой, разработан и запатентован метод аэродинамического упрочнения (АДУ) [9].

Эффект при упрочнении методом АДУ достигается за счет воздействия волн звуковой частоты на структуру твердых сплавов. В обработанных твердых сплавах происходит измельчение карбидных фаз и их перераспределение, уменьшение дислокаций внутренней структуры. За счет самоорганизации на уровне кристаллической решетки обеспечивается переход от беспорядочного движения флуктуаций и их хаотического состояния к новому порядку, позволяющему улучшать параметры структуры для заданных условий эксплуатации [10].

На ряде машиностроительных заводов в производственных условиях установлено, что при упрочнении методом АДУ повышается стойкость твердосплавного инструмента, работающего с ударными нагрузками, в 2...4 раза [11].

Результаты эксперимента

Для определения влияния времени обработки и величины износа твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ, на шероховатость обработанных поверхностей, а также для проверки полученной теоретической зависимости (3) проведен ряд экспериментальных исследований.

Шероховатость обработанных плоских поверхностей заготовок измеряли на профилометре-профилографе фирмы «Митутойо» (Mitutoyo) модели SurfTest SJ-210 (Япония). Погрешность измерения при этом составляла не

более 5 %. За величину шероховатости обработанной поверхности заготовки принимали высоту неровностей профиля по параметру Rz .

На первом этапе проводили исследования по определению влияния износа твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ, на шероховатость.

На рис. 2 в виде профилограмм и графически на рис. 3 (график 1) представлены результаты экспериментальных исследований шероховатости по параметру Rz от времени обработки торцевой фрезой $d = 63$ мм (пять зубьев) с пластинами твердосплавными PNUA-110408 ГОСТ 19064–80 сплава H10y (показатель у упрочнен методом АДУ), имеющими параметры $\gamma = 0^\circ$, $\varphi = 55^\circ$, $\varphi_1 = 5^\circ$, $r = 0,2$ мм. Обработке подвергали образцы из стали 45 размером 47×42 мм на фрезерно-карусельном станке ГФ211 на режимах: скорость резания $v = 124,6$ м/мин, подача на зуб $s_z = 0,52$ мм/зуб (большая подача выбиралась для наибольшей визуализации процесса), глубина резания $t = 0,5$ мм.

Анализ графика 1 (см. рис. 3) позволяет сделать вывод, что высота микронеровностей профиля по параметру Rz , полученного пластинами H10y, с увеличением времени обработки сначала уменьшается до 13 мкм при 50 мин обработки, а затем возрастает. Такое изменение высотных параметров полностью согласуется с существующей теорией резания и технологии машиностроения, а сам метод АДУ не изменяет характер классической зависимости шероховатость – время обработки [5, 6, 8].

Для проверки теоретических выводов о том, что при фрезерно-карусельном резании происходит изменение в процессе обработки мгновенной подачи на зуб s_z , произвели экспериментальные исследования шероховатости по параметру S – средняя ширина локального пика, представляющая собой среднее расстояние между локальными пиками профиля. Этот параметр шерохо-

ватости поверхности, заложенный в международном стандарте ISO 4287, косвенным образом характеризует мгновенную величину подачи на зуб s_z . Результаты экспериментальных данных

шероховатости по параметру S от времени обработки, полученные при указанных ранее условиях обработки, приведены на рис. 2, по ним построен график 2 (см. рис. 3).

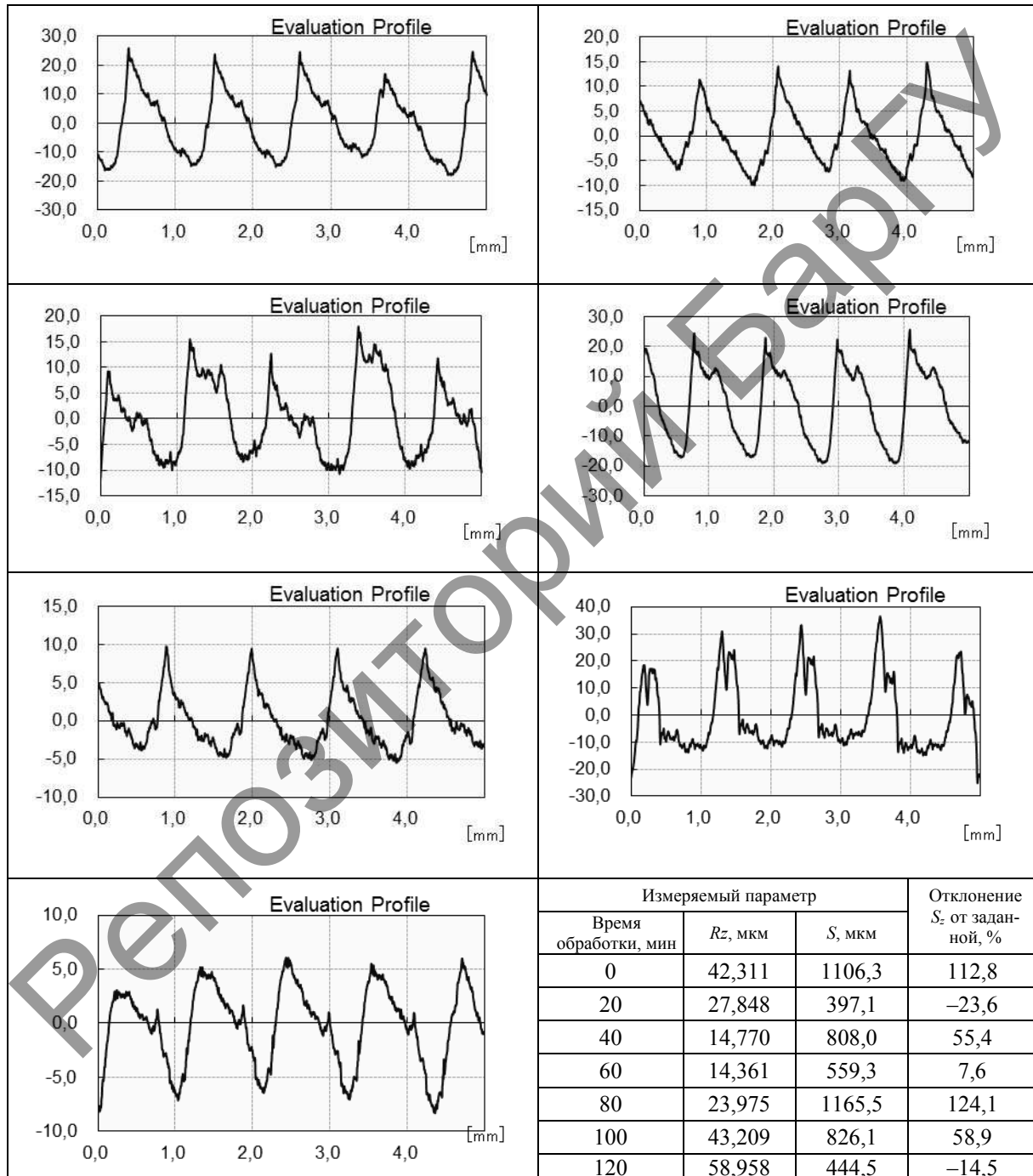
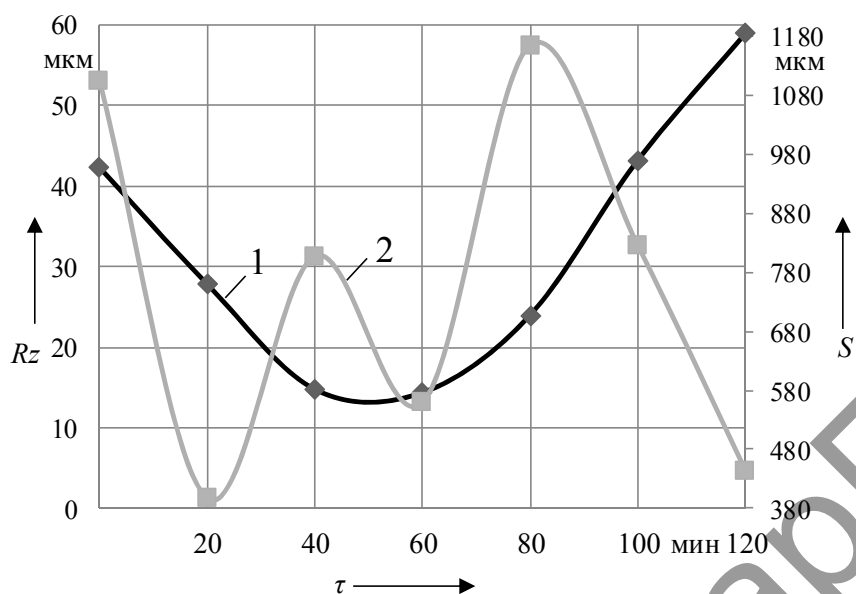


Рис. 2. Профилограммы поперечных шероховатостей образцов из стали 45, обработанных твердосплавными пластинами PNUA-110408 сплава H10y, упрочненными методом АДУ

Рис. 3. Зависимости шероховатостей по параметрам Rz (1) и S (2) от времени обработки τ

Исходя из обработанных результатов исследований (проценты в последнем столбце таблицы на рис. 2), следует, что мгновенная величина подачи на зуб s_z при фрезерно-карусельном резании не является величиной постоянной к установленной на станке подаче, а изменяется в зависимости от схемы расположения режущего элемента относительно центра вращения заготовки. Для данных измерений подача на зуб s_z изменяется в 2,5 раза, от -23,6 до 124,1 %.

При проведении сравнительных исследований по определению влияния метода упрочнения АДУ твердосплавных пластин различных сплавов на достигаемую ими при обработке шероховатость использовали твердосплавные пластины Н30 (неупрочненная), Н30у (упрочненная), Т5К10 (неупрочненная) и Т5К10у (упрочненная), которыми обрабатывали заготовки из стали 45 размерами 47 × 42 мм фрезой $d = 63$ мм с одним зубом (для устранения влияния конструкторских и технологических погрешностей инструмента) на фрезерно-карусельном станке ГФ211 на режимах: скорость резания $v = 158,3$ м/мин, подача на зуб $s_z = 0,21$ мм/зуб, глубина резания $t = 0,5$ мм. Дополнительно произво-

дили измерение износа режущего лезвия пластин по задней поверхности h_z .

Результаты экспериментальных исследований в виде профилограмм приведены на рис. 4 и графически представлены на рис. 5. Пластина Н30 неупрочненная разрушилась в течение первых 10 мин.

Из графиков (см. рис. 5) видно, что высота микронеровностей профиля по параметру Rz обработанных заготовок твердосплавными пластинами Т5К10у и Н10у выше, чем после обработки неупрочненной пластиной Т5К10. Наименьшая шероховатость обработанных поверхностей твердосплавными пластинами достигается: для Т5К10 при 40 мин; Н30у при 50 мин и Т5К10у при 60 мин, т. е. при упрочнении твердосплавных пластин методом АДУ наименьшая шероховатость при обработке ими достигается при наибольшем времени их работы по сравнению с неупрочненными.

Результаты обработанных экспериментальных исследований влияния износа твердосплавных пластин по задней поверхности h_z на достигаемую ими при обработке шероховатость по параметру Rz приведены на рис. 6.

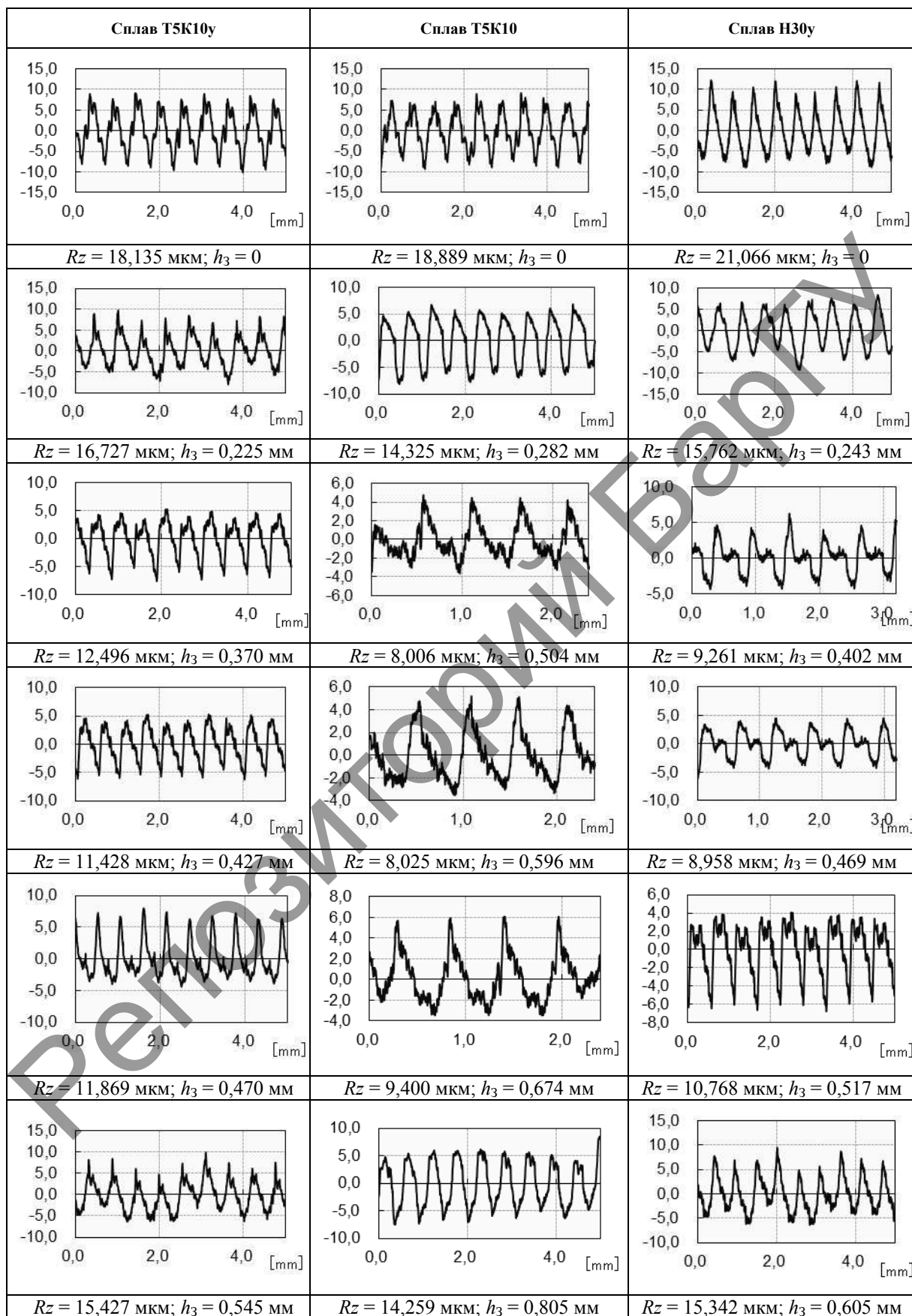
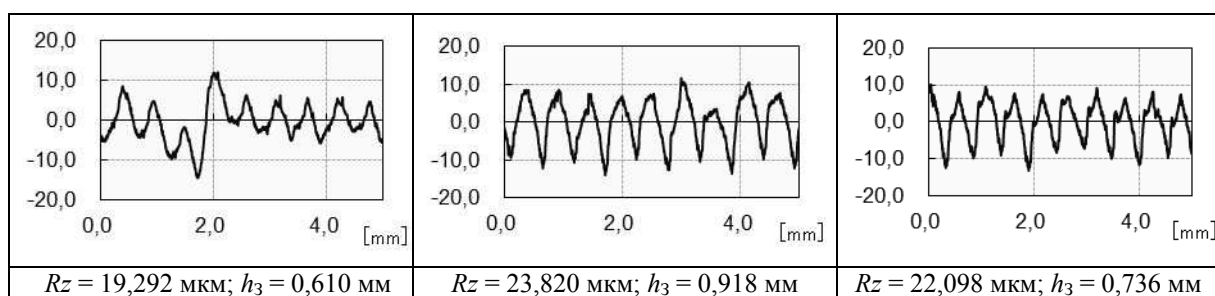


Рис. 4. Профилограммы поперечных шероховатостей образцов из стали 45, обработанных пластинами твердосплавными PNUA-110408 различных сплавов



Окончание рис. 4

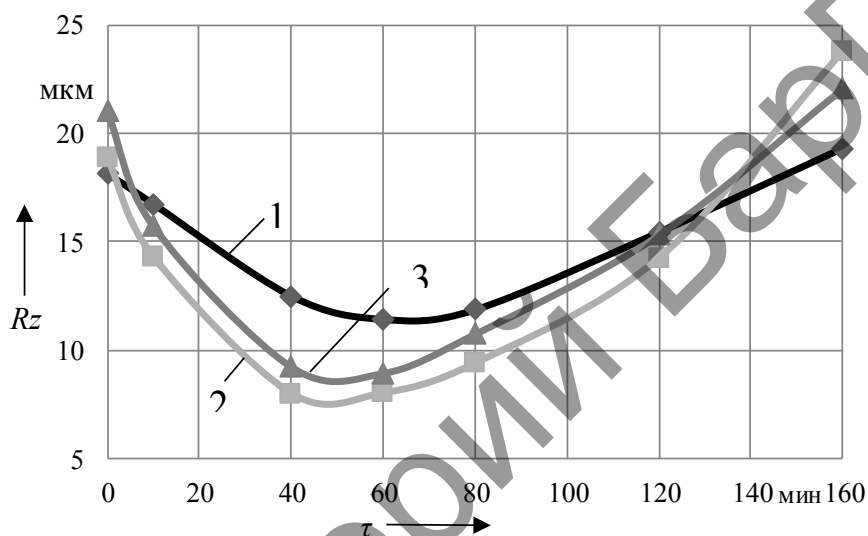


Рис. 5. Зависимости шероховатости по параметру Rz от времени обработки τ сплавами Т5К10у (1), Т5К10 (2), Н30у (3)

Анализ графических изображений (см. рис. 6) показывает, что влияние износа твердосплавных пластин по задней поверхности h_3 на шероховатость обработанной поверхности проявляется по-разному. В начале процесса обработки до величин износа по задней поверхности, равных 0,2 мм, соответствующего периоду приработки пластины, шероховатость обработанной поверхности уменьшается пропорционально износу по задней поверхности, что связано с тем, что в начальный период износ возрастает пропорционально времени работы фрезы [7].

В период нормального износа из-

менение шероховатости обработанной поверхности от износа твердосплавных пластин имеет противоположный характер. При износе h_3 от 0,2 до 0,45...0,55 мм шероховатость от величины износа по задней поверхности времени уменьшается, причем с интенсивностью значительно меньше, чем на предыдущем этапе. Это связано с тем, что на данном этапе наибольшее влияние на износ оказывают геометрические причины износа профиля режущей кромки пластины, а интенсивность износа h_3 ниже, чем в период начального износа [7].

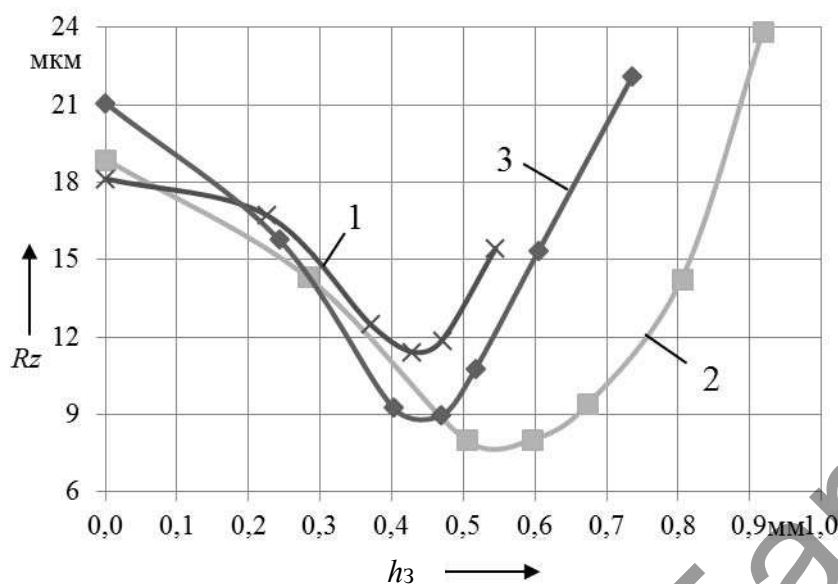


Рис. 6. Зависимость шероховатости по параметру Rz от величины износа твердосплавных пластин по задней поверхности h_z сплавов Т5К10у (1), Т5К10 (2), Н30у (3)

При износе более 0,45...0,55 мм шероховатость увеличивается с интенсивностью, аналогичной на нисходящей ветви кривой. Это происходит за счет возрастания количества и интенсивности факторов, связанных с увеличением силовой нагрузки, появлением вибраций и других описанных ранее факторов, которые возникают от образования большой контактной площадки (более 0,45...0,55 мм) между режущей пластиной и заготовкой, при этом интенсивность износа h_z соответствует периоду нормального износа.

Следует обратить внимание, что перегиб кривых шероховатости от износа твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ, возникает раньше, чем неупрочненных, а именно для упрочненных пластин при износе, равном 0,4...0,5 мм, а неупрочненных — при 0,5...0,6 мм.

Для экспериментального подтверждения или опровержения теоретически рассчитанной формулы (3) для определения шероховатости по параметру Rz проведены следующие исследования.

Экспериментальные данные из рис. 2 и 4 сравнены с расчетными результатами, полученными по формуле (3), которые приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из табл. 1 и 2, с погрешностью до 18 % теоретическая зависимость (3) действительна лишь для начала процесса фрезерования, когда износ пластины практически равен нулю.

Ряд авторов предпринимали попытки осуществить теоретический расчет получаемой при обработке величины шероховатости [2, 3]. Однако получить достоверные с экспериментальными данными теоретические зависимости шероховатости обработанной поверхности не представилось возможным.

Табл. 1. Значения шероховатости по параметру R_z , полученные экспериментально и теоретически рассчитанные по формуле (3) при подаче на зуб $s_z = 0,21$ мм/зуб для сплава Н10

Время обработки, мин	Шероховатость по параметру R_z , мкм		Погрешность, %
	экспериментальная	рассчитанная по формуле (3)	
0	42,311	42,868	-1,3
20	27,848	42,868	-53,9
40	14,770	42,868	-190,2
60	14,361	42,868	-198,5
80	23,975	42,868	-78,8
100	43,209	42,868	0,8
120	58,958	42,868	27,3

Табл. 2. Значения шероховатости по параметру R_z , полученные экспериментально и теоретически рассчитанные по формуле (3) при подаче на зуб $s_z = 0,52$ мм/зуб

Время обработки, мин	Шероховатость по параметру R_z , мкм						Погрешность, %		
	экспериментальная			рассчитанная по формуле (3)					
	T5K10y	T5K10	H30y	T5K10y	T5K10	H30y	T5K10y	T5K10	H30y
0	18,135	18,889	21,066	17,312			4,5	8,4	17,8
20	16,727	14,325	14,202	17,312			-3,5	-20,9	-21,9
40	12,496	8,006	9,261	17,312			38,5	-116,2	-86,9
60	11,428	8,025	8,958	17,312			51,5	-115,7	-93,3
80	11,869	9,400	10,768	17,312			45,9	-84,2	-60,8
100	15,427	14,259	15,342	17,312			12,2	-21,4	-12,8
120	19,292	23,820	22,098	17,312			10,3	27,3	21,7

Выводы

1. Изменение шероховатости обработанной поверхности твердосплавными пластинами, упрочненными методом АДУ, от времени обработки имеет аналогичный характер, как и при обработке неупрочненными пластинами.

2. Время обработки, при котором достигается наименьшая шероховатость, твердосплавными пластинами, упрочненными методом АДУ, значительно больше, чем неупрочненными.

3. Мгновенная величина подачи на зуб s_z при фрезерно-карусельном резании не является величиной постоянной к установленной на станке подаче, а изменяется в зависимости от схемы

расположения режущего элемента относительно центра вращения заготовки.

4. При упрочнении твердосплавных пластин методом АДУ наименьшая шероховатость при обработке ими достигается при наибольшем времени их работы по сравнению с неупрочненными.

5. В период приработки твердосплавных пластин, упрочненных АДУ, шероховатость обработанной поверхности уменьшается пропорционально износу по задней поверхности, в период нормального износа изменение шероховатости обработанной поверхности от износа твердосплавных пластин имеет противоположный характер – сначала уменьшается, а затем увеличивается,

причем с одинаковой и значительно меньшей, чем в период приработки, интенсивностью. Перегиб кривых шероховатости от износа твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ, возникает раньше, чем неупрочненных.

6. Полученная теоретическая зависимость определения шероховатости от геометрических параметров инструмента

и технологических параметров обработки (см. формулу (3)) действительна лишь для начала процесса фрезерования.

7. Для уменьшения шероховатости при обработке деталей твердосплавным инструментом, упрочненным методом АДУ, необходимо уменьшать подачу на зуб s_z и углы в плане ϕ и ϕ_1 , производить притупление режущей кромки зуба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Грановский, Г. И.** Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – Москва : Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. **Тихонова, А. А.** Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании / А. А. Тихонова, Д. В. Виноградов // Изв. высш. учеб. заведений. – 2011. – № 11. – С. 68–71.
3. **Водилев, А. В.** Анализ шероховатости обрабатываемой поверхности при фрезеровании концевой фрезой с равной стойкостью боковых и торцовых режущих лезвий / А. В. Водилев, В. П. Черкашин // Современная техника и технологии [Электронный ресурс]. – 2013. – № 12. – Режим доступа: <http://technology.snauka.ru/2013/12/2719>.
4. Справочник металлиста : в 5 т. / Е. Д. Баклунов [и др.] ; под ред. А. Н. Малова. – Москва : Машиностроение, 1977. – Т. 3. – 748 с.
5. Основы технологии машиностроения : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. С. Ямников [и др.] ; под ред. А. С. Ямникова. – Тула : ТулГУ, 2006. 269с.
6. **Бобров, В. В.** Основы теории резания / В. В. Бобров. – Москва : Машиностроение, 1976. – 344 с.
7. **Комлев, А. П.** Справочник молодого фрезеровщика / А. П. Комлев. – Минск : Вышэйшая школа, 1981. – 288 с.
8. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения : учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 196 с.
9. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. 2557175 РФ / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков. – Опубл. 20.07.2015.
10. **Zhigalov, A. N.** Improved Hard Alloys for Efficient Milling / A. N. Zhigalov, A. R. Maslov, G. F. Shaturov // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35, № 11. – С. 818–821.
11. **Маслов, А. Р.** Повышение сопротивления изнашиванию твердых сплавов методом аэродинамического воздействия / А. Р. Маслов, А. Н. Жигалов // Трение и износ. – 2014. – Т. 35, № 5. – С. 461–466.

Статья сдана в редакцию 27 июня 2017 года

Анатолий Николаевич Жигалов, канд. техн. наук, генеральный директор, ЗАО «Промлизинг». Тел.: +375-296-30-15-17.

Anatoly Nikolayevich Jigalov, PhD (Engineering), Director General, CJSC Promlizing. Phone: +375-296-30-15-17.