

УДК 621.9.042

**В.Д. ГОНЧАРОВ**, канд. техн. наук,  
**Д.В. ПЕРШИНА**, Барнаул, Россия

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЯ С ОСНОВОЙ**

Розглянуто вплив міцності з'єднання покриття з деталлю-основою при обробці лезовим інструментом. Представлений графік залежності міцності зчеплення покриття з поверхнею деталі - основи від головного та допоміжного кутів у плані різального інструменту, повний профіль шорсткості при фрезеруванні, рваний профіль поверхні при фрезеруванні. Варіювання параметрами режимів різання призвело до отримання різних видів профілів, що вимагає оптимізації мікрорельєфу поверхні.

Рассмотрено влияние прочности соединения покрытия с деталью-основой при обработке лезвийным инструментом. Представлен график зависимости прочности сцепления покрытия с поверхностью детали-основы от главного и вспомогательного углов в плане режущего инструмента, полный профиль шероховатости при фрезеровании, рваный профиль поверхности при фрезеровании. Варьирование параметрами режимов резания привело к получению различных видов профилей, что потребовало оптимизации микрорельефа поверхности.

The influence of strength of adhesion of coating to part-substrate at the machining with blade tool is considered. The curve of strength of adhesion of the coating to the surface of the part-substrate from main and complementary entering angles of the cutting tool, full surface roughness at milling, ragged surface profile at milling are presented. Variation of the parameters of cutting mode led to the production of various profile types that requires optimization of surface micro-relief.

Важнейшей проблемой машиностроения на современном этапе является повышение качества выпускаемой продукции. Основные показатели машин и приборов – их надёжность и КПД, которые в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами деталей и соединений, то есть пределом выносливости, коррозионной стойкостью, износостойкостью, коэффициентом трения, контактной жёсткостью,

прочностью посадок, герметичностью соединений. Эксплуатационные свойства характеризуются состоянием поверхностного слоя, определяемым технологией изготовления. Использование технологий нанесения теплозащитных, износостойких, коррозионностойких, химически стойких, электроизоляционных, и других видов защитных покрытий на детали и узлы машин позволяет сократить себестоимость изделий и даёт возможность повысить качество, надёжность машин, сроки эксплуатации оборудования. На современном этапе в технологии машиностроения широко используются методы образования новых поверхностей путём нанесения покрытий как при изготовлении новых деталей, так и при ремонте деталей.

Предварительная обработка поверхности детали-основы относится к числу важнейших факторов, определяющих прочность сцепления покрытия с основным металлом. Адгезия покрытия возникает под действием ряда механизмов, из которых определяющее значение для многих покрытий имеет механическое сцепление напыляемого материала с поверхностью детали-основы. Для того чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с неровностями поверхности, основа должна быть достаточно шероховатой. В тех случаях, когда адгезия покрытия зависит от сплавления напыляемого материала с материалом основы или от образования химических соединений в переходной зоне, предварительная обработка изделий должна включать очистку поверхности. Предварительная обработка поверхности изделия для придания ей шероховатости – важная мера увеличения площади поверхности основы и создание большей активности основы.

Целью исследования является:

- 1) обеспечить микропрофиль рваной поверхности для последующего напыления;
- 2) сравнить влияние прочности соединения напылённого покрытия с поверхностью детали-основы при обработке поверхности лезвийным инструментом и нарезанием рваного профиля поверхности.

Ставиться задача – оптимизировать влияние трения на процесс резания. При этом коэффициент трения относится к важному параметру, определяющему процесс резания.

Зоревым Н.Н. установлено [1], что резкое снижение коэффициента трения при резании в водной среде полностью устраняет наростообразование и застойные явления на передней грани резца, вызывает снижение сил резания, усадки и работы сил резания. Выявлено, что при резании на воздухе усадка стружки и удельное давление резания могут возрастать и падать с увеличением толщины среза, что связано с изменением фактического переднего угла за счёт наростообразования. Возникновение нароста на передней грани режущего элемента не связано с какой-либо определённой температурой резания, нарост является следствием изменения схемы деформирования стружки и образование напряжённого состояния в стружкообразовании. При уменьшении толщины среза до критической величины напряжённое состояние зоны стружкообразования настолько усложняется, что происходит скачкообразное изменение схемы деформирования, выражающееся в появлении нароста. Дальнейшее уменьшение толщины среза сопровождается всё большим относительным развитием нароста. Схема образования нароста изображена в соответствии с рис. 1.

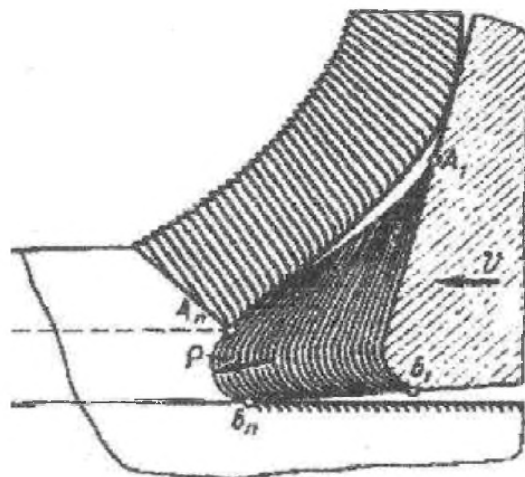


Рисунок 1 – Схема формирования нароста  
 $A_n B_n$  – дуга образования нароста;  
 $A_1 B_1$  – исходный слой нароста;  
 $v$  – вектор скорости резания

Наростообразование влияет на обработанную поверхность детали-основы:

- 1) изменяются размеры обработанной поверхности детали-основы;
- 2) на обработанных поверхностях остаются продукты разрушения наростов в виде твёрдых внедрившихся в поверхность частиц, возрастает шероховатость, появляется неравномерность упрочнения обработанной поверхности детали-основы.

При возникновении нароста на резце на обрабатываемой детали образуется рваная поверхность, что отрицательно влияет на чистоту поверхности при обработке. Получение микрорельефа рваной поверхности применимо для последующего напыления, что позволяет увеличить прочность сцепления, следовательно, срок службы изделия при эксплуатации.

Нарезание рваного профиля обеспечивает высокую прочность сцепления при сдвиге покрытия с поверхностью детали (за счёт механического сцепления). Для этого необходимо использовать резец с углом при вершине  $55-60^\circ$ , вершина угла должна иметь радиус закругления  $0,3-0,5$  мм, угол резания  $80^\circ$ , передний угол резца равен нулю или отрицателен ( $2-5^\circ$ ). Резец устанавливают в резцедержателе с вылетом  $100-150$  мм. Для получения шероховатости режущую кромку резца необходимо смещать ниже оси детали. Рекомендуемые [1] режимы нарезания «рваной» резьбы на стальных деталях представлены в соответствии с табл. 1.

Параметры рваного профиля резьбы рекомендуется подбирать экспериментально для каждого материала с целью правильного определения размера детали и толщины наносимого покрытия. Рваный профиль нарезают за один проход. Она может быть круглой, треугольной с закругленными вершинами, грубой пилообразной и рваной полукруглой в соответствии с рис. 2. На небольшие детали диаметром до  $80$  мм обычно наносят мелкую треугольную резьбу с глубиной  $0,6$  мм с шагом  $0,8$  мм. При обработке изделия большего диаметра наносят резьбу с большим шагом и глубиной. Например, при диаметре  $250$  мм шаг должен составлять  $2$  мм, глубина –  $1,5$  мм, при этом целесообразно наносить пилообразную нарезку с наклоном ниток в противоположные стороны. Резьба такого вида рекомендуется для подготовки втулок и разъемных подшипников.

Таблица 1 – Режимы нарезания «рваной» резьбы на стальных деталях

Диаметр детали, мм	Смещение резца, мм	Частота вращения детали, мин-1
10	1	300
15	1,5	210
20	2	150
25	2,5	135
30	2,5	100
35	3	95
40	3	75
45	3	70
50	3,5	60
75	4	45
100	4,5	30
150	5	20
200	6	15
250	7,5	13
300	9	10
350	11	9

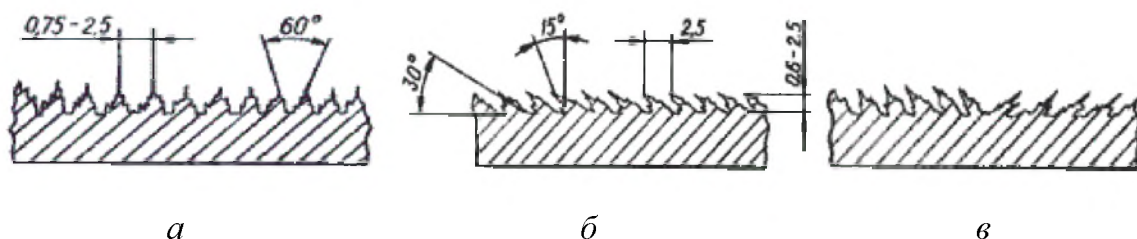


Рисунок 2 – Различные профили «рваной» резьбы  
 а – остроугольный профиль, б – пилообразный профиль, в – пилообразный профиль с наклоном витков в противоположные стороны

После резания необходимо контролировать рваный профиль. Образования, появляющиеся на вершинах, удалить шабером или широким резцом при вращении детали. Профиль может быть удовлетворительный, обеспечивающий хорошее сцепление напылённого слоя с основным металлом, и неудовлетворительный, при котором в изолированные и узкие впадины напыляемый материал попадать не будет, представлено в соответствии с рис. 3. Таким образом, наростообразование на лезвийном

инструменте позволяет получать рваный профиль резьбы для последующего напыления.

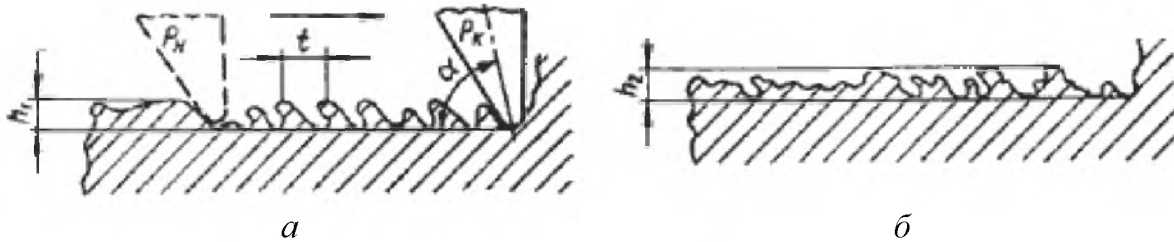


Рисунок 3 – Рваный профиль резьбы

а –удовлетворительный профиль, б –неудовлетворительный профиль

$P_H, P_K$  – положение резца в начале и в конце обработки;

$\alpha$  – угол наклона оси резца (в плане) относительно оси детали ( $70-75^\circ$ );

$t$  – шаг резьбы, мм;  $h_1$  и  $h_2$  – глубина резьбы (0,5-0,8 мм).

В результате образования нароста на лезвийном инструменте установлено, что нарезание рваного профиля поверхности обеспечивает высокую прочность сцепления при сдвиге покрытия с поверхностью детали-основы, что позволяет увеличить срок службы деталей при эксплуатации.

Известно, что при отсутствии нароста на обрабатываемой поверхности заготовки воспроизводится профиль инструмента. Причём чем выше скорость резания, тем более превалирует эффект геометрического копирования. Форма микронеровностей обработанной поверхности, образующихся при фрезеровании, определяется геометрической формой вершины зуба. На рис. 4 нами представлены несколько видов геометрических профилей микронеровностей обработанной поверхности после фрезерной обработки.

Выбор геометрических параметров в плане режущего инструмента значительно влияет на микропрофиль поверхности детали-основы, что обеспечивает необходимую прочность её сцепления с покрытием. Как известно, прочное соединение частицы с основой наступает только при подогреве заготовки до определённой температуры, соответствующей заполнению контактной поверхности под частицей очагами схватывания на 40-70% [2]. Такое заполнение свидетельствует о достаточной глубине развития химического взаимодействия частиц с основой. Для увеличения прочности сцепления покрытия с основой необходимо не только улучшать

качество профиля поверхности детали-основы перед напылением, но и учитывать факторы, влияющие на деталь при его эксплуатации. Главный фактор, влияющий на прочность соединения напылённого покрытия с поверхностью детали-основы, является полное взаимодействие напылённых частиц с основой.

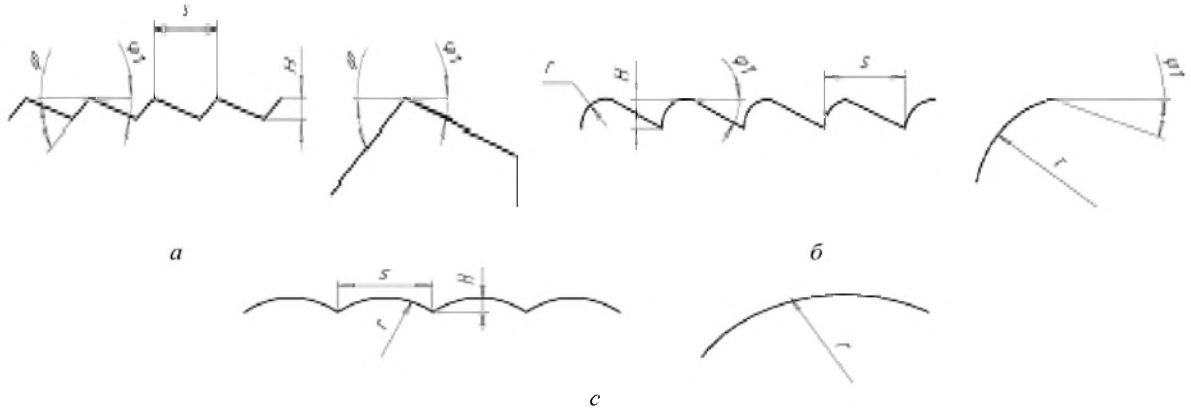


Рисунок 4 – Влияние геометрии зуба фрезы на профиль и высоту микронеровностей обработанной поверхности

$S$  – средний шаг местных выступов, мкм;  $\varphi$ ,  $\varphi 1$  – главный и вспомогательный углы в плане, град;  $H$  – высота микронеровности профиля, мкм;  $r$  – радиус при вершине зуба, мм.

В ходе экспериментальных исследований нами был получен график зависимости прочности сцепления покрытия с поверхностью детали-основы от главного и вспомогательного углов в плане однозубой фрезы, представленные на рис. 5.

При этом величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,98$ . Подача на зуб при фрезеровании  $S = 0,1$  мм/зуб, радиус при вершине зуба  $r = 0,2$  мм. Главный и вспомогательный углы варьировались от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ .

Величина прочности сцепления заметно уменьшается с повышением главного вспомогательного углов в плане режущего инструмента. В зависимости от геометрических параметров режущего инструмента токарного проходного резца, зуба фрезы получается полный профиль риски, профиль риски в виде двух радиусных участков, неполный профиль риски в виде двух радиусных участков и одного линейного участка. При подаче на один оборот детали  $S = 0,5$  мм/об, радиусе при вершине резца

$r = 0,1$  мм,  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi_1 = 45^\circ$ , получается график полного профиля риски шероховатости при фрезеровании в соответствии с рис. 6.

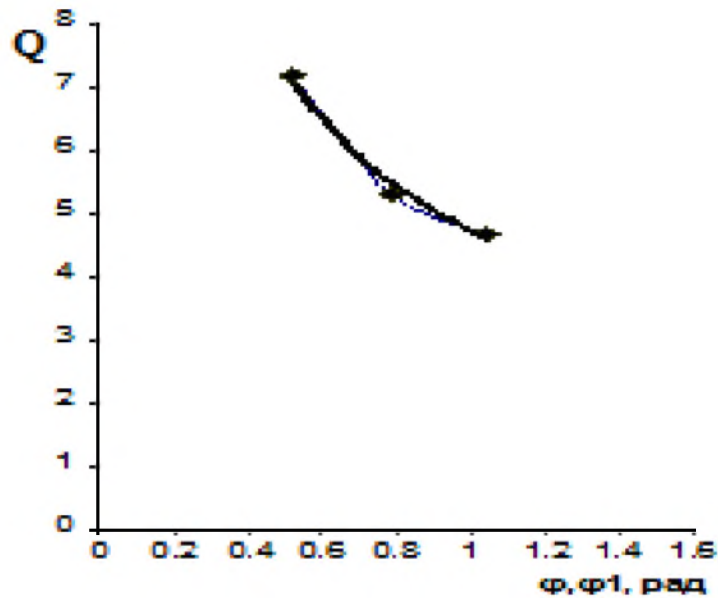


Рисунок 5 – График зависимости прочности сцепления напылённого покрытия с поверхностью детали-основы  
 $Q$  – прочность сцепления покрытия с основой, МПа;  
 $\varphi, \varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане, радиан

$$Q = 4,71 \varphi^{-0,62} \quad (1)$$

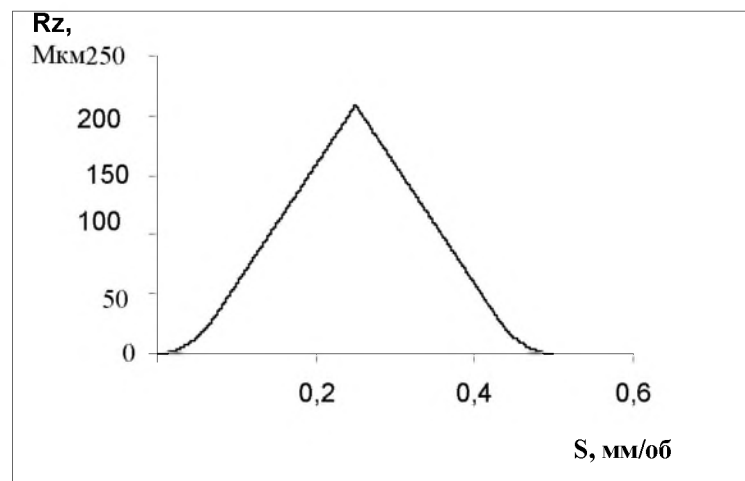


Рисунок 6 – Полный профиль шероховатости при фрезеровании



При подаче на один оборот детали  $S = 0,5$  мм/об, радиусе при вершине резца  $r = 0,2$  мм,  $\varphi = 2^\circ$  и  $\varphi_1 = 45^\circ$ , получается график шероховатости рваного профиля резьбы при фрезеровании в соответствии с рис. 7.

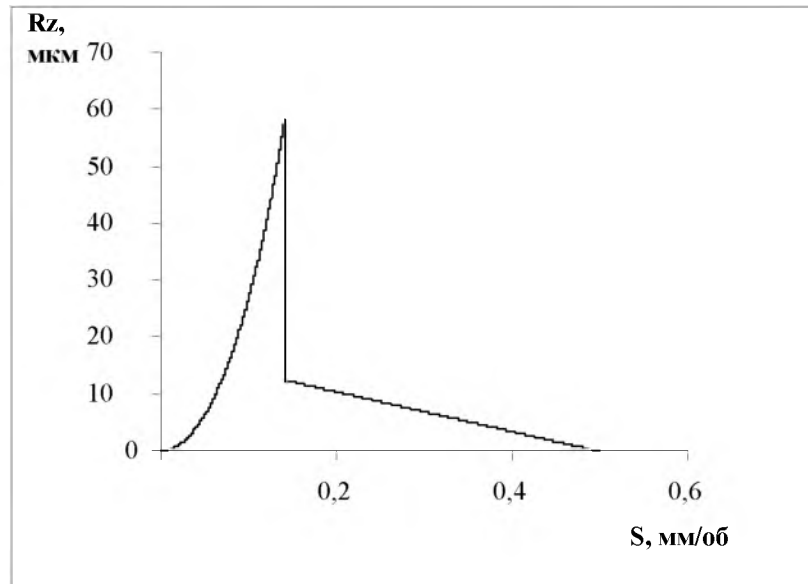


Рисунок 7 – Рваный профиль шероховатости при фрезеровании

Таким образом, рваный профиль поверхности позволяет увеличить прочность соединения напылённого покрытия с поверхностью детали-основы вследствие развитого сечения профиля поверхности за счёт механического сцепления при последующем напылении. Варьирование параметрами режимов резания привело к получению различных видов профилей в том числе и получение рваной резьбы при наростообразовании на резце.

**Список использованных источников:** 1. Зорев Н.Н. Исследование элементов механики процесса резания / Под ред. д.т.н. А. М. Розенберга. – М.: Машиностроение, 1952. – 364 с., ил. 2. Хасуй, А. Техника напыления / Пер. с яп. В.Н. Попова; Под ред. В.С. Стёпина, Н.Г. Шестёркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 220 с., ил.