

Министерство высшего и среднего специального образования БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер В.М.ХОДЬКОВ

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА НЕКОТОРЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ
(Специальность 05.171 - Теория обработки резанием)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М и н с к - 1971

Работа выполнена в Витебском специальном конструкторском бюро зубообрабатывающих, шлифовальных и заточных станков. Отдельные этапы работы проводились во ВНИИинструмента.

Научный руководитель -
член-корреспондент АН БССР, доктор
технических наук, профессор
П.И.ЯЩЕРИЦЫН

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор
В.А.КУДИНОВ,
кандидат технических наук, доцент
С.С.КОСТЮКОВИЧ

Ведущее предприятие -
ВНИИинструмента (г.Москва).

Направляем Вам для ознакомления автореферат кандидатской диссертации инженера В.М.ХОДЬКОВА. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научных работников Белорусского политехнического института в 10 дней до защиты. О дне защиты будет сообщено в газете "Вечерний Минск".

Отзывы в двух экземплярах просим направлять по адресу:
г.Минск-27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, секретарь Ученого Совета.

Защита предполагается " " _____ 1971 г.
Дата отправки автореферата " " _____ 1971 г.

Ученый секретарь Совета -
кандидат технических наук, доцент

В В Е Д Е Н И Е

Точность и качество поверхностей деталей машин определяются в основном финишными операциями, подавляющее большинство которых производится шлифованием. Роль и значение шлифования возрастают с сокращением припусков на механическую обработку, что обуславливает значительное увеличение шлифовальных, полировальных и доводочных станков в общем станочном парке страны.

В реальном процессе шлифования всегда наблюдаются вибрации станка, которые, как показывает практика, вызывают значительное ухудшение качества обработанных поверхностей. Несмотря на большое распространение шлифовальных операций, влияние вибраций на показатели шлифования остается недостаточно изученным. В связи с этим основной целью диссертации явилось раскрытие механизма влияния вибраций на силы резания, шероховатость шлифованной поверхности, образование циклических ожогов и изыскание путей повышения качества шлифованных поверхностей.

Экспериментальная часть работы выполнялась в экспериментально-исследовательском отделе Витебского СКБ ЭИ и ЭС на универсально-зеточном станке мод. 3Б642, полуавтоматах для заточки червячных фрез моделей 3А660Б, 3А662, 3Б62 и в лаборатории прецизионного инструмента ВНИИ на полуавтомате для заточки червячных фрез мод. АОВ-230 фирмы "Klingelnberg" (ФРГ). При проведении экспериментов применялась современная электроизмерительная и электронная аппаратура: индуктивно-емкостной усилитель ЭИ-3А, тензосуилитель Т-2, шлейфовый осциллограф Н-102, тензометрические, индуктивные датчики, профилограф-профилометр *TALYSURF-1* (Англия) и т.д.

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и приложений. Работа излагается на 155 страницах машинописи, содержит 60 рисунков и 12 таблиц.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА - ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ, ШЕРОХОВАТОСТЬ И ОБРАЗОВАНИЕ ОЖОГОВ НА ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ¹

Анализ отечественных и зарубежных работ по влиянию вибраций на силы резания, шероховатость поверхности и образование циклических ожогов на шлифованной поверхности показал, что механизм влияния вибраций на показатели шлифования раскрыт недостаточно. Исследователи объясняют ухудшение показателей шлифования при наличии вибраций повышенным овоматочиванием круга или периодическим увеличением глубины резания. Эти факторы оказывают влияние на показатели шлифования, однако, как показывают эксперименты и практика, ухудшение показателей шлифования происходит в большей степени, чем увеличение глубины резания, вызванное вибрациями. Например, при наличии вибраций часто появляются циклические ожоги на шлифованной поверхности, хотя глубина резания возрастает незначительно. Поэтому в предлагаемой работе ставилась задача раскрыть механизм влияния вибраций на шероховатость шлифованной поверхности, силы резания и образование циклических ожогов на шлифованной поверхности. Наличие этих данных позволяет наметить пути уменьшения шероховатости шлифованной поверхности, расхода абразивного инструмента и устранения циклических ожогов, вызванных вибрациями.

Глава II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ И БИЕНИЯ КРУГА НА ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАНИЯ

Механизм влияния вибраций и биения круга на показатели шлифования рассмотрен на примере плоского шлифования торцом круга.

При шлифовании с продольной подачей и наличии врезания абразивного круга в деталь в направлении оси Y (рис. I) интенсивность съема металла выражается зависимостью

$$Q = V_k \epsilon t + s V_{\text{кр}}, \quad (I)$$

¹ Так как в дальнейшем выражение "силы резания, шероховатость и образование ожогов на шлифованной поверхности" приходится часто повторять, оно заменено более коротким - "показатели шлифования". Введенный нами термин условен и не охватывает всех показателей шлифования.

где V_u - скорость продольной подачи;
 b - ширина обрабатываемого изделия;
 t - глубина резания в данный момент времени;
 S - площадь контакта круга и детали;
 V_{br} - скорость врезания круга в деталь.

Интенсивность съема металла, приходящаяся на единицу площади контакта круга и детали, равна

$$q = \frac{V_u b t}{S} + V_{br}. \quad (2)$$

Вибрации круга относительно детали по оси Y вызывают периодическое врезание круга в деталь (рис.2) и, следовательно, периодическое увеличение интенсивности съема металла:

$$q = \frac{V_u b t}{S} + 2\pi a f \cos 2\pi f t, \quad (3)$$

где a - амплитуда относительных колебаний круга и детали;
 f - частота колебаний;
 t - время.

Необходимо отметить, что зависимость (3) справедлива только на участке врезания круга в деталь, в течение полупериода колебаний. При движении круга от детали интенсивность съема вырастет первым слагаемым.

Пусть, например, $V_u = 3$ м/мин = 3000 мм/мин; $b = 10$ мм;
 $t = 0,01$ мм; $S = 20$ мм²; $a = 0,002$ мм; $f = 50$ гц.

Тогда интенсивность съема металла на единицу площади контакта круга и детали при отсутствии вибраций

$$q = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,01}{20} = 15 \text{ мм}^3/\text{мм}^2 \cdot \text{мин.}$$

Максимальная скорость врезания круга в деталь равна

$$V_{br} = 2\pi a f = 2\pi \cdot 0,002 \cdot 50 = 0,628 \text{ мм/сек} = 37,7 \text{ мм/мин.}$$

При наличии вибраций

$$q = \frac{3000 \cdot 10 \cdot 0,01}{20} + 37,7 = 15 + 37,7 = 52,7 \text{ мм}^3/\text{мм}^2 \cdot \text{мин.}$$

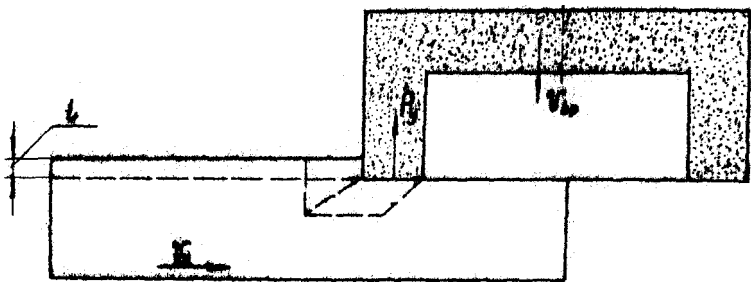


Рис.1. Шлифование с продольной подачей изделия и непрерывной поперечной подачей круга.

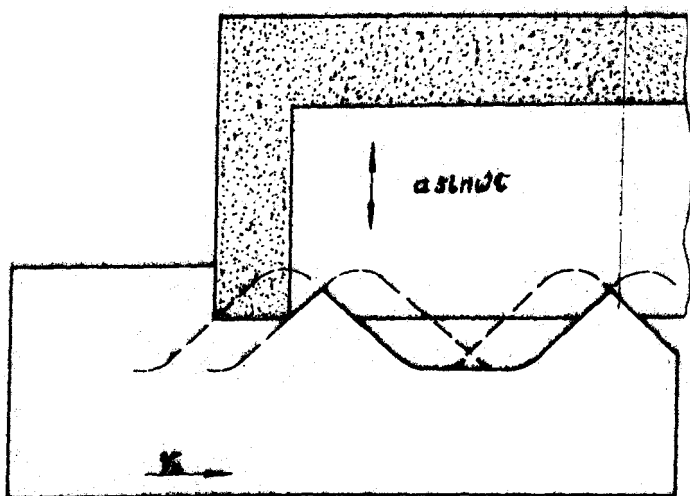


Рис.2. Влияние вибраций на интенсивность съема металла.

Таким образом, при наличии вибраций интенсивность съема металла периодически значительно возрастает, причем рост интенсивности определяется в основном скоростью врезания (скоростью относительных колебаний). В приведенном примере вибрации вызвали увеличение глубины резания на 20%, а мгновенная интенсивность съема возрасла на 250%. При увеличении интенсивности съема металла количество абразивных режущих зерен растет в меньшей степени. Поэтому толщины стружек, снимаемых абразивными вернами, возрастает, что, в свою очередь, вызывает увеличение шероховатости. Так как интенсивность съема металла при наличии вибраций растет гораздо в большей степени, чем глубина резания, то и шероховатость шлифованной поверхности тоже значительно повышается. Механизм влияния биений рабочей поверхности абразивного круга на интенсивность съема металла и шероховатость шлифованной поверхности будет аналогичным соответствующему механизму влияния вибраций. Отличие заключается в том, что закон изменения интенсивности съема при наличии биений круга может быть другим.

Зависимость нормальной составляющей силы резания от интенсивности съема металла в первом приближении можно считать линейной:

$$P_y = k Q, \quad (4)$$

где k — постоянный коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, абразивного круга и условий работы;

Q — интенсивность съема металла.

При наличии относительных колебаний круга и детали

$$P_y = k (V_u (t + 2\pi s \alpha f \cos 2\pi f t)) \quad (5)$$

Согласно зависимости (5), вибрации вызывают периодическое увеличение нормальной составляющей силы резания, приращение которой тем больше, чем выше скорость врезания и площадь контакта круга и детали, а ее направление противоположно скорости врезания (скорости колебаний).

Таким образом, в зоне резания при шлифовании возникают силы, демпфирующие относительные колебания круга и детали. Демпфирование в зоне резания возрастает при увеличении площади контакта кру-

га и детали и носит нелинейный характер, так как величина его зависит от направления перемещения круга относительно детали. При движении круга от детали по оси $У$ демпфирование в зоне резания отсутствует.

Периодическое увеличение нормальной составляющей силы резания, вызванное вибрациями и биениями, приводит к росту давления, приходящегося на единицу площади контакта круга и детали, причем рост давления происходит в большей степени, чем увеличение глубины резания, вызванное вибрациями. При большом давлении удельный расход кругов возрастает. Это является одной из причин усиленного износа абразивного инструмента при наличии вибраций и биений круга.

Увеличение интенсивности съема металла, вызванное вибрациями и биениями, приводит к периодическому увеличению количества тепла, выделяющегося в зоне резания за единицу времени. Во время врезания интенсивное выделение тепла на небольших участках поверхностного слоя детали приводит к нагреву последних до высокой температуры и изменению структуры поверхностного слоя шлифуемой детали. При движении рабочей поверхности круга от детали интенсивность съема металла и количество тепла, выделяющегося в единицу времени, уменьшаются. Указанные явления способствуют появлению циклических ожогов на обработанной поверхности, проявляющихся в виде темных полос.

Таким образом, шероховатость шлифованной поверхности, силы резания, удельный износ круга, количество тепла, выделяющегося в зоне резания за единицу времени, определяются не только режимами шлифования, величиной вибраций и биений рабочей поверхности круга относительно детали, но и в значительной степени скоростью вибраций и биений в направлении оси $У$, с увеличением которой показатели шлифования ухудшаются.

В зоне резания при шлифовании возникают не только силы, возбуждающие колебания, но и силы, демпфирующие их. Демпфирующая способность зоны резания возрастает при увеличении площади контакта круга и детали.

Глава III. ВЛИЯНИЕ ДЕМПИРУЮЩИХ СИЛ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НА СКОРОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВРЕЗАНИЯ КРУГА В ДЕТАЛЬ, ВЫЗВАННОГО ВОЗМУЩАЮЩИМИ СИЛАМИ И БИЕНИЯМИ КРУГА

Для механических систем стенок с одной и двумя степенями свободы установлены зависимости перемещения рабочей поверхности круга относительно детали и скорости врезания круга в деталь в направлении, перпендикулярном плоскости резания, при наличии возмущающих сил и биений круга. Анализ этих зависимостей показал большое влияние демпфирующей способности зоны резания при шлифовании на вибрации и биения рабочей поверхности круга относительно детали и на скорость периодического врезания круга в деталь. Скорость врезания, в свою очередь, в значительной степени определяет показатели шлифования. При малой скорости врезания шероховатость шлифованной поверхности, переменные составляющие сил резания, удельный износ круга и выделение тепла в зоне резания уменьшаются.

В данной главе показано, что из-за нежесткости системы СПИД действительная глубина резания оказывается меньше настроенной. Получены зависимости для определения действительной глубины резания, пользуясь которыми можно определить количество проходов для снятия определенного припуска и исправления исходной погрешности.

Глава IV. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКИХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

На основании исследований, проведенных в главах II и III, объяснен ряд явлений, наблюдаемых при шлифовании. В частности, улучшение качества шлифованных поверхностей при упругой заточке инструмента, снижение качества шлифованных поверхностей при длительном выкашивании, объяснены особенности тонкого шлифования (большая площадь контакта круга и детали, подпружинивание круга).

При упругой заточке инструмента (рис.3) поведение шлифовального круга описывается дифференциальным уравнением

$$M\ddot{y} + \frac{c\delta}{2}\dot{y} = P + Fc\cos\omega t, \quad (6)$$

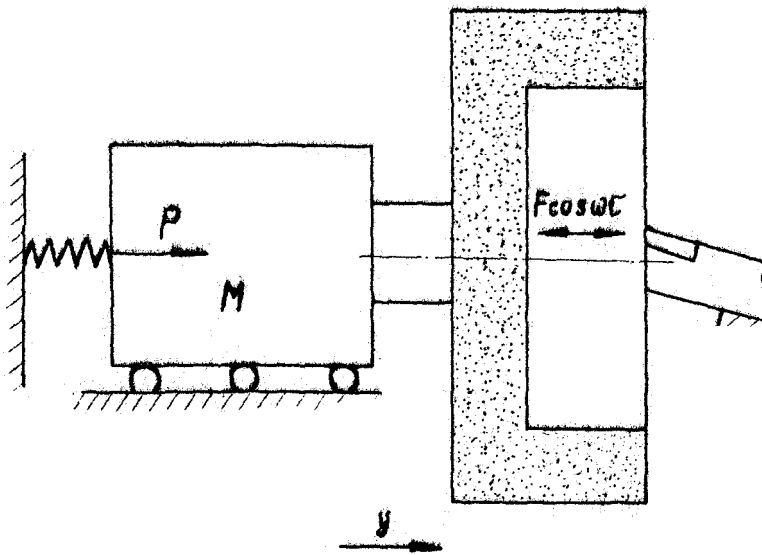


Рис.3. Упругая веточка инструмента с подпружиненным шлифовальным кругом.

- где M - масса системы инструмента;
 C - коэффициент, характеризующий зависимость нормальной составляющей силы резания, от площади контакта круга и детали и скорости врезания круга в деталь;
 S - площадь контакта круга и детали;
 y - перемещение круга;
 P - усилие, развиваемое пружиной;
 F - возмущающая сила.

Отсюда

$$y_0 = -F \frac{M\omega^2 + \frac{CS}{2}\omega}{(M\omega^2)^2 + (\frac{CS}{2}\omega)^2} \quad (7)$$

Из анализа переменной части решения уравнения (6), представленного в комплексной форме, следует, что при упругой заточке и большой площади контакта круга и детали их относительные колебания малы. Поэтому при упругой заточке инструмента часто обеспечивается лучшее качество шлифованных поверхностей, чем при жесткой.

При выхаживании глубина резания понижается, поэтому уменьшается площадь контакта круга и детали и время их контакта, так как глубина резания становится меньше размаха колебаний. Следовательно, демпфирующая способность зоны шлифования при выхаживании тоже уменьшается. Это является одной из причин ухудшения качества шлифованных поверхностей при длительном выхаживании.

Вибрации и биения круга относительно детали особенно недопустимы при тонком шлифовании. В случае черного шлифования увеличение интенсивности съема металла на единицу площади контакта круга и детали, вызванное вибрациями и биениями рабочей поверхности круга относительно детали, невелико. При тонком шлифовании и наличии вибраций интенсивность съема металла может возрастать в несколько раз, что приводит к ухудшению показателей шлифования. Поэтому при тонком шлифовании стремятся достичь минимальных значений вибраций и биения круга относительно детали за счет увеличения площади контакта круга и детали и подпружинивания детали или круга. Большая площадь контакта приводит к увеличению демпфирования в зоне резания и уменьшению относительных колебаний круга и детали. Подпружинивание при большой площади приводит к уменьшению биения ре-

бочей поверхности круга относительно детали.

Глава V. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ И БИЕНИЙ КРУГА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СИЛЫ РЕЗАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ОЖОГОВ НА ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Эксперименты по определению зависимости шероховатости шлифованной поверхности от вибраций и биений круга относительно детали проводились на гидрофицированном универсально-заточном станке модели 3Б642, обрабатывались твердосплавные пластины Т15К6 алмазным кругом АЧК 200х30х3х32 АСП 12-МГ-100-2П. Шлифование проводилось при включенном вибраторе и одинарном ходе стола. Рабочая ленточка алмазного круга составляла 1 мм. Относительные колебания шлифовальной головки и стола определялись по волнистости шлифованной поверхности. Анализ экспериментальных данных позволил установить, что с увеличением скорости относительных колебаний круга и детали и скорости биений рабочей поверхности круга относительно детали по оси Y (при постоянной максимальной глубине резания) шероховатость шлифованной поверхности возрастает, причем шероховатость на участке врезания круга больше, чем на участке выхода круга. Так, при увеличении амплитуды относительных колебаний с 2,8 до 11 мкм и постоянной максимальной глубине резания 33 мкм, несмотря на уменьшение средней интенсивности съема металла шероховатость R_a возрастает с 0,74 до 2,24 мкм. При изменении частоты относительных колебаний с 20 до 50 гц и сохранении постоянными размаха колебаний и максимальной глубины резания шероховатость возрастает в 2 раза - от 1,05 до 1,96 мкм. С изменением величины биения рабочей поверхности круга относительно детали от 6,9 до 17,1 мкм шероховатость возрастает от 0,85 до 2,48 мкм. Рост шероховатости объясняется увеличением скорости периодического врезания круга в деталь в направлении, перпендикулярном плоскости резания.

Схема установки для определения зависимости нормальной составляющей силы резания от биения рабочей поверхности круга приведена на рис.4. Образец 1, закрепленный на динамометре 2, шлифовался методом непрерывной поперечной подачи при различных величинах биения рабочей поверхности круга относительно детали. Непрерывная попе-

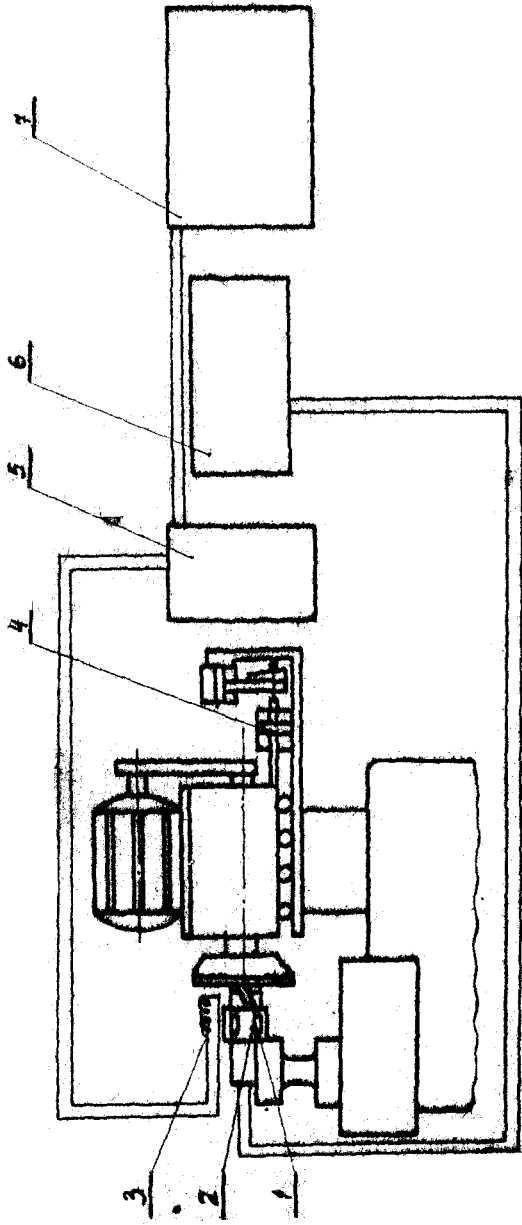


Рис. 4. Схема установки для определения зависимости нормальной составляющей силы резания от бигенки рабочей поверхности шпинделя.

речная подача осуществлялась от гидравлического механизма врезания 4. Биение рабочей поверхности круга относительно детали измерялось с помощью индуктивного датчика 3, усилителя ЭИ-3А 5 и осциллографа Н-102 7. Для измерения нормальной составляющей силы резания использовались малоинерционный динамометр 2, усилитель Т-2 6 и осциллограф 7.

Эксперименты показали, что переменная составляющая ΔP_y возрастает с увеличением биения рабочей поверхности круга относительно детали. Так, изменение биения с 0,02 до 0,07 мм вызвало рост ΔP_y от 6 до 26 кг для сплава Т15К6. Нормальная составляющая опережает биение на 90° - 180° , с увеличением биения круга опережение возрастает. При наличии вибраций круга относительно детали сила P_y будет совершать отрицательную работу, т.е. оказывать демпфирующее действие.

Исследования микроструктуры шлифованных поверхностей показали, что на участках врезания круга в деталь толщина отпущенного слоя больше, а вторично закаленный слой меньше, чем на участке выхода круга. Это объясняется тем, что на участке врезания круга в деталь интенсивность съема металла и количество выделяемого тепла больше, чем на участке выхода круга.

Глава VI. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАТОЧКИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Результаты испытаний станков моделей ЗА662, Э66ЗП, ЗА660Б и др. показали, что при заточке червячных фрез с крутыми стружечными канавками на передней поверхности наблюдается повышенная шероховатость (рис.5), появляются гранность и иногда циклические ожоги. При заточке фрез с прямыми канавками на передней поверхности появляются длинные продольные риски, что увеличивает ее шероховатость.

В ходе выполнения настоящей работы определены причины ухудшения качества заточки червячных фрез с крутыми и прямыми стружечными канавками.

При заточке червячных фрез с винтовыми стружечными канавками на станках, у которых спиралеобразование осуществляется с помощью зубчатых колес, возникают крутильные колебания фрез, вызванные циклической погрешностью цепи спиралеобразования и переменными си-

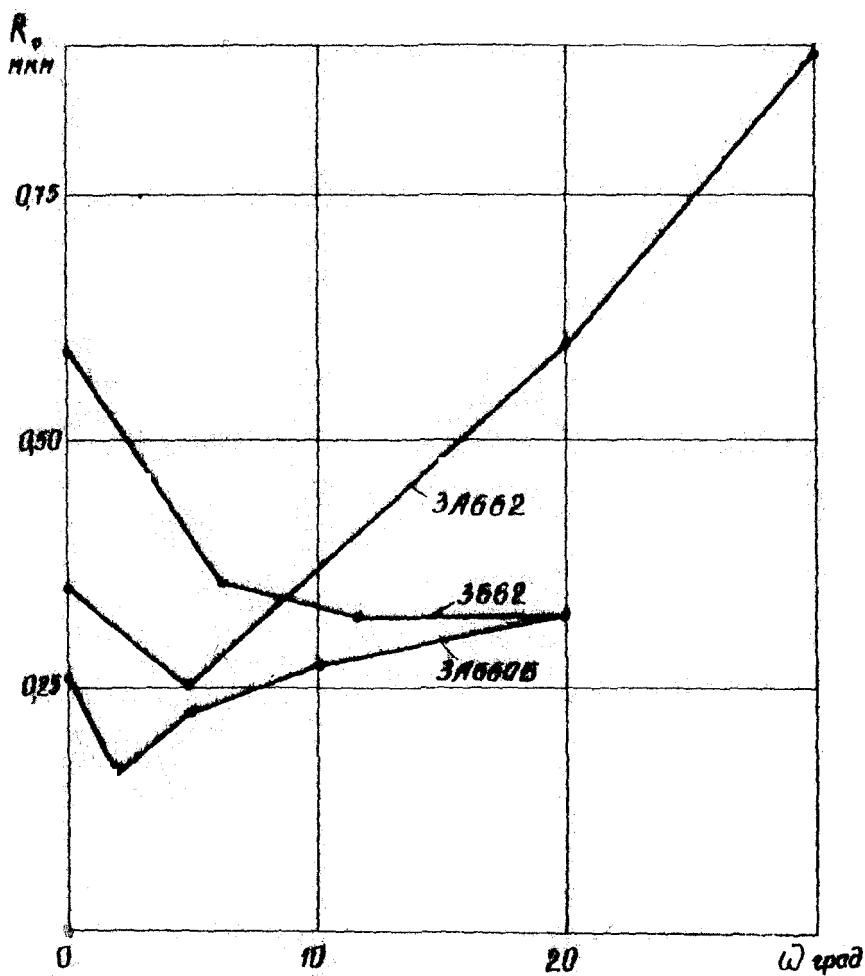


Рис.5. Зависимость шероховатости заточенной передней поверхности фрезы от угла наклона стружечной канавки.

лами трения в зубчатых зацеплениях. Колебания приводят к периодическому врезанию фрезы в круг в направлении, перпендикулярном плоскости резания, т.е. не заточку с круговой подачей на ход стола накладывается периодически врезное шлифование и, следовательно, мгновенная интенсивность съема металла периодически возрастает. Это вызывает увеличение шероховатости передней поверхности, появление гранности, а при большой скорости врезания - циклических ожогов. Скорость периодического врезания возрастает при увеличении циклической погрешности цепи спиралеобразования. Диаметры фрезы и уменьшении шага стружечной канавки.

Полуавтомат модели ЗА660Б имеет короткую кинематическую цепь и затачиваются на станке фрезы только малого диаметра. Поэтому, как показали эксперименты, падение чистоты передней поверхности фрезы, вызванное циклической погрешностью цепи спиралеобразования, находится в пределах одного класса при изменении угла наклона канавки от 2° до 20° . При заточке фрез большого диаметра на станках моделей ЗА662 и З663 наблюдается ухудшение чистоты поверхности на 2 класса. а гранность проявляется острее, чем на станке модели ЗА660Б.

Цепи спиралеобразования станков для заточки червячных фрез с крутыми стружечными канавками должны иметь малую циклическую погрешность. Как показали эксперименты, на таких станках целесообразно применять схему спиралеобразования с гибким элементом (линейка, ползуны, ленты, барабан, шпиндель).

При заточке червячных фрез с прямыми стружечными канавками контакт круга и фрезы происходит по линии, перпендикулярной направлению продольной подачи. В этом случае направления скоростей абразивных зерен в зоне резания и, следовательно, царапины - риск нанесенные ими, параллельны продольной подаче. При заточке фрез не применяют поперечную подачу, то после нескольких выхаживающих проходов абразивное режущее зерно наносит одну продольную канавку и при последующих проходах, попадая в эту же канавку, новых рисков не наносит. Поэтому при заточке фрез с прямыми канавками выхаживание несущественно уменьшает шероховатость поверхности.

При заточке фрез с винтовыми стружечными канавками контакт круга с фрезой происходит по линии, составляющей с направлением

продольной подачи угол, отличный от 90° . Поэтому абразивное зерно наносит царапины-риски под некоторым углом к направлению продольной подачи. Так как кинематическая связь между оборотами круга и перемещением стола отсутствует, режущее абразивное зерно при каждом выхаживающем проходе наносит царапины-риски на новом участке поверхности, т. е. вероятность попадания зерна в канавку, прорезанную им ранее, мала. Эффективность выхаживания в этом случае повышается (без учета динамических колебаний).

Предложена схема заточки червячных фрез с прямыми и полными стружечными канавками, обеспечивающая условия шлифования, аналогичные возникающим при заточке фрез с винтовыми канавками. Эксперименты показали, что предлагаемая схема заточки фрез обеспечивает повышение чистоты поверхности при грубой правке на 2 класса, при тонкой - на 0,5 класса.

Одновременно с исследованием гранности и шероховатости при заточке червячных фрез решен вопрос обеспечения радиальности передней поверхности фрез с винтовыми стружечными канавками. Рекомендуемый способ заточки червячных фрез в настоящее время применяется на универсально-заточных станках новой гаммы.

В ы в о д ы

1. При вибрациях и биениях рабочей поверхности круга относительно детали шероховатость шлифованной поверхности, сила резания и количество тепла, выделяющегося в зоне резания, определяются не только режимами шлифования и величиной вибраций и биений, но и вызванной ими скоростью периодического врезания круга в деталь в направлении оси Y (скоростью относительных колебаний). При увеличении скорости периодического врезания показатели шлифования ухудшаются.

2. С увеличением амплитуды относительных колебаний круга и детали в 4-10 раз при постоянной максимальной глубине резания шероховатость возрастает в 2-3 раза. Увеличение частоты относительных колебаний и биения рабочей поверхности круга при постоянной максимальной глубине резания также вызывает рост шероховатости шлифованной поверхности, причем шероховатость поверхности на участках врезания круга в деталь выше, чем на участках выхода.

3. На участках врезания круга в деталь интенсивность съема металла выше и тепда в зоне резания выделяется больше, чем на участках выхода круга. Поэтому в первом случае толщина отпущенного слоя больше, а вторично закаленного слоя меньше, чем во втором.

4. В зоне резания при шлифовании кроме сил, возбуждающих колебания, возникают силы, демпфирующие колебания круга относительно детали. Экспериментально установлено, что эти силы опережают перемещение рабочей поверхности круга относительно детали на 90° - 180° . Величина опережения увеличивается с ростом относительных колебаний.

5. При упругой заточке инструмента скорость периодического врезания круга в деталь по оси Y , вызванного вибрациями и биениями круга, меньше чем в случае жесткой, поэтому в первом случае качество шлифованных поверхностей оказывается более высоким.

6. В процессе выхаживания демпфирующая способность зоны резания падает за счет уменьшения площади контакта круга и детали и времени врезания круга в деталь. Это является одной из причин ухудшения качества шлифованных поверхностей при длительном выхаживании.

7. Вибрации оказывают особенно большое отрицательное влияние на качество поверхностей при тонком шлифовании, так как в этом случае они вызывают значительное относительное увеличение интенсивности съема металла.

8. При заточке червячных фрез с винтовыми стружечными канавками на станках, у которых образование спирали осуществляется с помощью зубчатых колес, возникают крутильные колебания фрез, которые вызываются циклической погрешностью цепи спиралеобразования и переменными силами трения в зубчатых зацеплениях. С уменьшением шага фрезы число работающих зубьев колес цепи спиралеобразования и, следовательно, частота колебаний и скорость периодического врезания круга в деталь возрастают. Поэтому шероховатость передней поверхности фрезы увеличивается и на ней появляются циклические ожоги и гранность.

9. Для заточки червячных фрез с крутыми стружечными канавками целесообразно применять схему спиралеобразования с гибким элементом (линейка, ползуна, лента, барабан, шпиндель). В этом случае чистота передней поверхности фрезы повышается на 1-2 класса, а

гренность и циклические ожоги уменьшаются.

10. При заточке фрез с прямыми стружечными канавками контакт круга и фрез происходит по линии, перпендикулярной направлению продольной подачи. Направления скоростей абразивных зерен в зоне резания и, следовательно, царапины-риски, нанесенные ими, параллельны продольной подаче. После нескольких выжигивающих проходов абразивное зерно наносит одну продольную канавку и при последующих проходах, попадая в эту же канавку, новых рисок не наносит. Поэтому при заточке фрез с прямыми канавками выжигивание незначительно уменьшает шероховатость поверхности.

11. Предложена схема заточки, обеспечивающая повышение чистоты передней поверхности фрез с прямыми и пологими стружечными канавками при грубой правке круга на 2 класса, при тонкой - на 0,5 класса, а также уменьшение отклонения передней поверхности фрез с винтовыми канавками от радиальности в 4 ± 10 раз.

12. Рекомендуемый способ заточки червячных фрез применен на универсально-заточных станках новой гаммы. Результаты исследований механизма влияния вибраций на шероховатость, гренность и циклические ожоги шлифованной поверхности использованы при создании станков новой гаммы для заточки червячных фрез.

В диссертации содержится акт внедрения.

По результатам работ сделаны доклады:

1. На XXIV научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Белорусского политехнического института. Минск, 1968.

2. На всесоюзной научно-технической конференции по совершенствованию методов шлифования и улучшения конструкций прецизионных станков. Вильнюс, 1968.

3. На межотраслевой конференции "Усовершенствование зубообрабатывающего инструмента". Одесса, 1969.

4. На техническом совете Витебского СКБ ЭШ и ЭС.

5. На техническом совете Витебского завода заточных станков им. XXII съезда КПСС.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Х о д ь к о в В . М . , С и д о р о в Г . Н . Производительный метод правки алмазных кругов. "Станки и инструмент", № 10, 1966.

2. Х о д ь к о в В . М . Связь динамики процесса шлифования с качеством шлифованных поверхностей и пути повышения точности шлифования. Сб. докладов "Всероссийская научно-техническая конференция по совершенствованию методов шлифования и улучшения конструкций прецизионных станков", ЭНИМС и НИИМАШ, М., 1968.

3. Х о д ь к о в В . М . Повышение качества заточки червячных фрез. Сб. "Усовершенствование зубообрабатывающего инструмента", ВНИИ и НИИМАШ, М., 1969.

4. Я д е р и ц ы н П . И . , Х о д ь к о в В . М . Теоретический анализ влияния основных параметров шлифовальных станков на качество шлифованных поверхностей. Сб. "Прогрессивная технология машиностроения", вып. I, изд-во "Высшая школа", Минск, 1970.