

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных  
технологий, механики и оптики**

**В.А. Валетов  
С.Д. Третьяков**

# **ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**



Санкт-Петербург  
2005

УДК 621.81.004.17:620.191.355.001.5

Валетов В.А., Третьяков С.Д. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей / Учебно-методическое пособие, СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. – 28с.

Излагаются теоретические предпосылки оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей и примеры их практической реализации в виде цикла лабораторных работ. Рассматривается практический пример использования непараметрического метода оценки микрогеометрии поверхности для решения задачи оптимизации микрорельефа поверхностей деталей. Приводятся примеры выполнения лабораторных работ по оптимизации микрогеометрии поверхностей деталей приборов.

Пособие предназначено для изучения и практического закрепления материала по дисциплине “Технология приборостроения” студентами факультета точной механики и технологий.

Одобрено на заседании совета факультета точной механики и технологий 13 декабря 2005 г., протокол №5.

© Санкт-Петербургский  
государственный университет  
информационных технологий,  
механики и оптики, 2005

© В.А. Валетов, С.Д. Третьяков, 2005

# 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ РАЗВИТИЕ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

К макроотклонениям формы относят единичные, регулярно не повторяющиеся отклонения реальной поверхности от номинальной (выпуклость, вогнутость, конусность и т.д.). Волнистость представляет собой совокупность периодических, регулярно повторяющихся, близких по размерам выступов и впадин, расстояние между которыми значительно больше, чем у неровностей, образующих шероховатость поверхности, и превышает базовую длину  $L$ , используемую для оценки шероховатости. Под шероховатостью поверхности совокупность микронеровностей с относительно малым шагом, образующий рельеф поверхности, рассматриваемых в пределах участка, длина которого равна некоторой длине  $L$ . Кроме того, на выступах, образующих шероховатость, имеются ещё более мелкие неровности - субмикрощероховатость.

Следует заметить, что между волнистостью и шероховатостью в настоящее время границу проводят условно. Единственным оправданием такого деления могут служить метрологические соображения, так как пока не существует датчика, который бы объединял в себе большой диапазон измерений (от нескольких миллиметров) с хорошей чувствительностью (до 0,001 мкм и выше). [2]

Можно сказать, что макроотклонения - отклонения первого порядка, волнистость - второго порядка, шероховатость - третьего и четвертого порядка, субмикрощероховатость - пятого и шестого.

Форма и размер микронеровностей зависит от кинематической схемы и способа обработки, механических свойств материала и колебаний в системе СПИД.

Субмикрощероховатость в значительной мере определяется структурой обрабатываемого материала и его напряжённым состоянием. Волнистость образуется главным образом вследствие вынужденных колебаний, возникающих в процессе обработки.

Макроотклонения являются следствием погрешностей, вызванных неточностью изготовления станка и инструмента, а также упругими деформациями, возникающими под влиянием переменной силы резания. [3]

Традиционно для оценки микрогеометрии поверхности пользуются её профилем, представляющим собой сечение поверхности плоскостью, перпендикулярной к этой поверхности и ориентированной в каком-то заданном направлении. Характеристики профиля, отсчитывают по отклонению к средней линии  $m-m$  (которая проводится так, чтобы сумма

квадратов отклонений от неё точек профиля расположенных выше и ниже средней линии, была минимальной). [4]

Через величину наиболее высокой неровности и дно наиболее низко расположенной впадины проводят линии выступов и впадин, параллельные средней линии  $m-m$ , рис. 1.

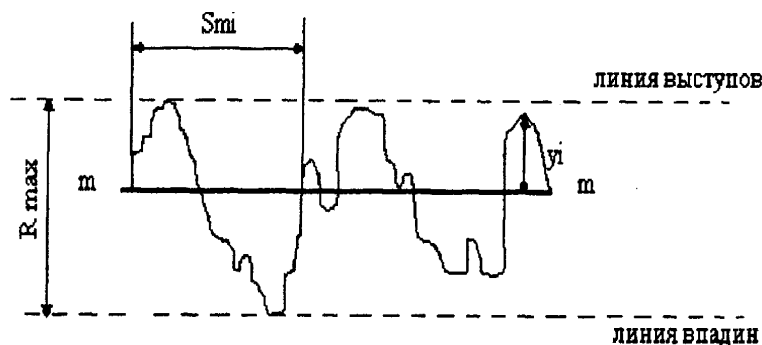


Рис. 1. Шероховатость профиля и его характеристики.

$R_a$ -средне арифметическое отклонение профиля:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx \approx \frac{\sum_0^n |y_i|}{n}$$

$R_q$  - среднеквадратическое отклонение профиля (корень квадратный из суммы квадратов расстояний точек профиля от средней линии):

$$R_q = \left( \frac{1}{l} \int_0^l y_i^2 dx \right)^{0.5} \approx \left( \frac{\sum_0^n y_i^2}{n} \right)^{0.5}$$

$R_z$  - высота неровностей (среднее арифметическое абсолютных отклонений находящихся в пределах базовой длины пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов.):

$$R_z = ((h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})) / 5$$

$R_p$  - высоты сглаживания (расстояние от линии выступов до средней линии в пределах базовой длины).

$R_{max}$  - наибольшая высота неровностей профиля (расстояние между линией выступов и линией впадин).

$S_m$  - средний шаг неровностей профиля (средне арифметическое значение длин отрезков средней линии, равных расстоянию между двумя соседними пересечениями её со средней линией, в пределах базовой длины).

$T_p$  - относительная опорная длина профиля. Исследование волнистости проводили по тем же параметрам, что и шероховатость: высотным  $W_{max}$ ,  $W_a$ ,  $W_z$ ,  $W_p$ , шаговым  $S_w$ , форме неровностей волн  $r_w$ , их направлению, опорной длине профиля  $t_w$ .

## 1.2. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ

Микрогеометрию случайных нормально распределённых поверхностей, в общем случае, можно описать с помощью трёх (двух) базовых критериев. Однако, среди реальных поверхностей, многие нельзя считать чисто случайными, а последние не всегда являются нормально распределёнными. Поэтому, трудно решить проблему достоверности описания микрогеометрии поверхности с помощью различных комплексных критериев, представляющих различные комбинации из неинформационных критериев.

Поэтому, возникает необходимость лёгкого описания, в производственных условиях, микрогеометрии сложных поверхностей. [2]

В общем случае, микрогеометрия поверхности зависит от многих факторов (режимы резания, качество режущего инструмента, исходные свойства заготовки ...), поэтому её следует рассматривать как реализацию случайного профиля, тогда профиль реальной поверхности есть реализация случайной функции [2].

Следует заметить, что наиболее полную информацию о профиле содержат плотности распределения ординат и углов наклона, а для приближённой оценки вполне достаточно функций распределения ординат и углов наклона профилей. Для оценки одного функционального свойства достаточно одного из графиков.

Суть метода заключается в практическом использовании графиков функции показанных на рис. 2.

Рассмотрим этот метод на примере.

Исследуем образцы, работающие на износ, при этом их форма постепенно меняется от (а) к (б) также меняется и функция плотности распределения ординат профиля. Однако, испытания показали, что годными являются профили в промежутке от (а) до (к). Тогда, можно построить шаблон, включающий в себя все функции плотности распределения ординат профиля от (а) к (к), рис. 3.

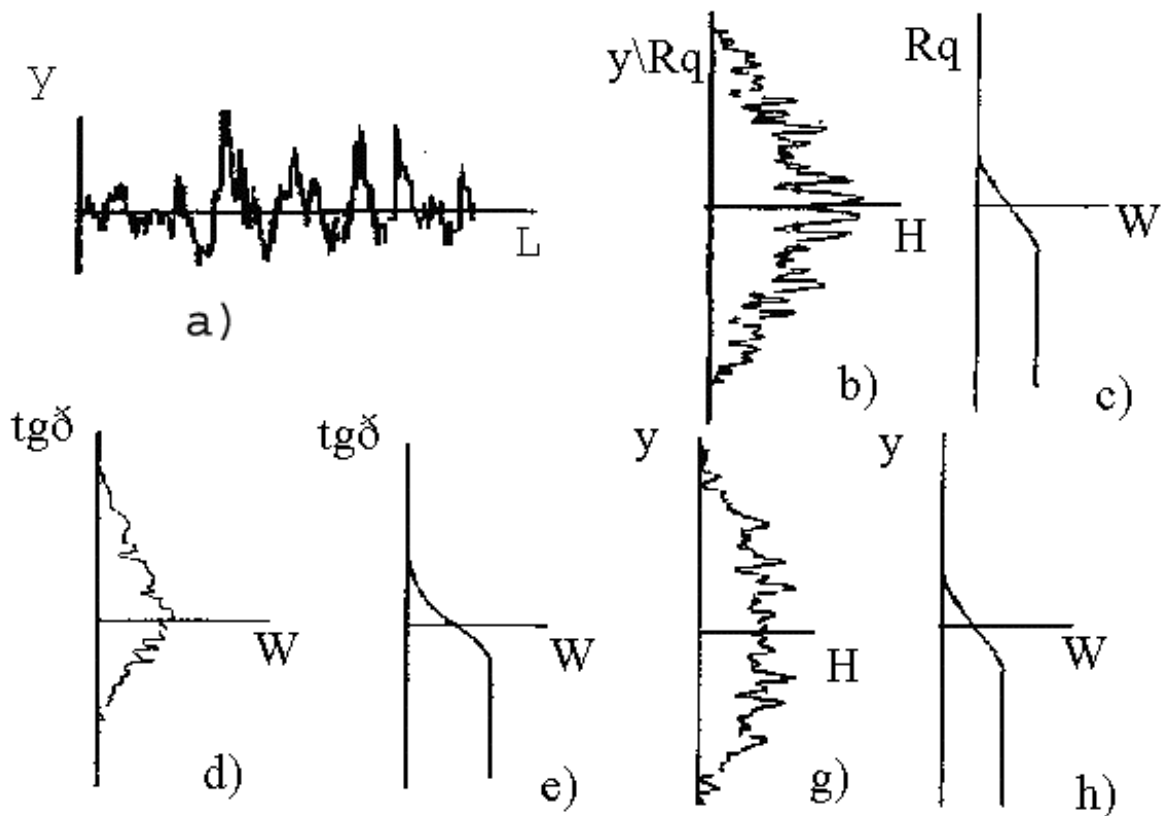


Рис. 2. а) Профиль поверхности; непараметрические критерии оценки; б) плотность распределения ординат безразмерного профиля ( $H$ -частность, шт.;  $Rq$ -среднеквадратическое отклонение, мкм.), в) распределение ординат безразмерного профиля ( $W$ -вероятность), д) плотность распределения тангенсов углов наклона профиля, е) распределения тангенсов углов наклона профиля, г) плотность распределения ординат профиля ( $y$ -отклонение профиля от средней линии, мкм), в) распределения ординат профиля

Аналогичным образом, можно построить шаблоны для функции плотности распределения тангенсов углов наклона профиля.

Экспериментальным путём для различных видов обработки конкретных материалов, в определённых условиях, можно получить зависимость между непараметрическими критериями оценки микрогеометрии поверхности и параметрами режимов резания. Что даёт возможность технологу обеспечить требования к микрогеометрии поверхности назначенные конструктором.

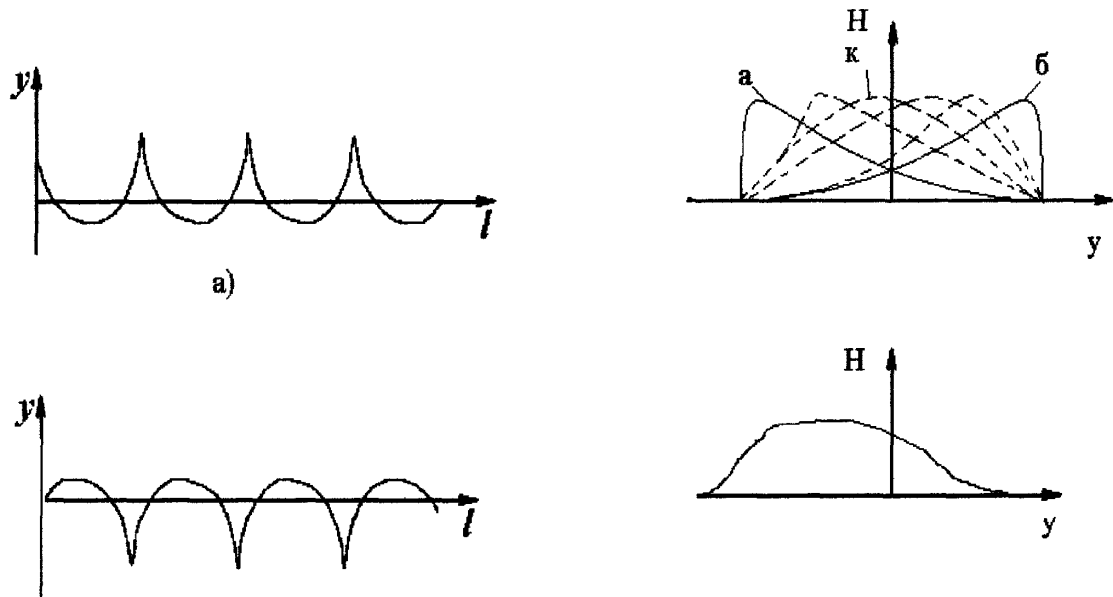


Рис. 3. Схема построения шаблона для контроля микрогеометрии поверхности

Также, при практическом исследовании следует заметить, что удобнее применять безразмерные профили, получаемые делением его ординат на величину  $Ra$  или  $Rq$ , что избавляет от проблемы связанной с необходимостью строить в одном масштабе профили, ординаты которых колеблются от долей до тысяч мкм.

С помощью этого метода хорошо заметны различия профиля, которые не видны при рассмотрении профилограмм (рис. 4.).

Этот метод позволяет определить стационарность поверхности и необходимую длину профиля, для каждого вида обработки. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

И так стационарность профиля определяют сравнением снятых в различных местах профилограмм, используя для этого непараметрические критерии и в случае положительного результата, утверждают о достаточности одного профиля для того, чтобы охарактеризовать поверхность при данном виде обработки, в данных конкретных условиях.

Необходимую длину профиля определяют сравнением непараметрических критериев для профилей различной длины и, в зависимости от наиболее значимого функционального свойства, (волнистости, шероховатости, ...) выбирают минимально необходимую.

Следует заметить, что непараметрические критерии очень чувствительны к изменениям режимов резания, форме режущего клина, колебаниям системы СПИД и т.д.

Итак для оценки характера поверхностей используют следующие параметрические и непараметрические критерии:

- Функции распределения и плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей;
- Функции распределения ординат безразмерного профиля;
- Среднеарифметическое отклонение профиля,  $Ra$ ;
- Среднеквадратичное отклонение профиля,  $Rq$ ;
- Наибольшее отклонение профиля,  $Rm$ ;
- Асимметрия и эксцесс для распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля.

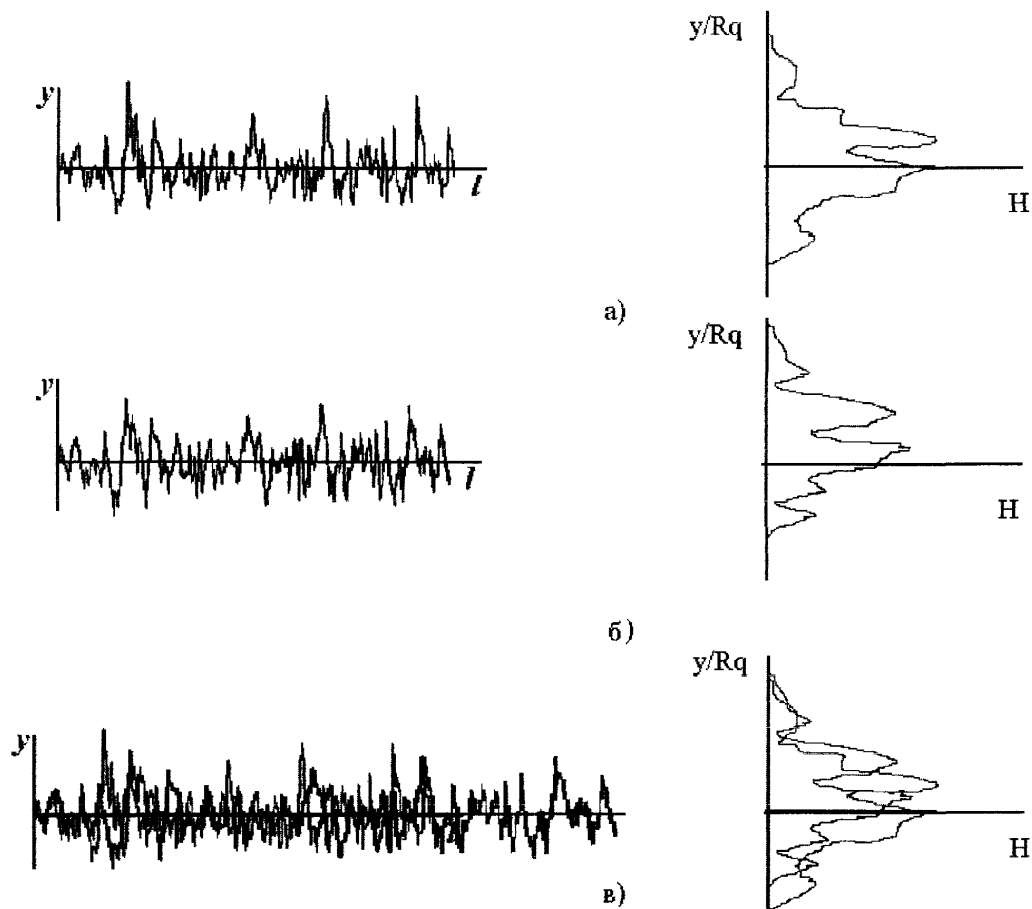


Рис. 4. Схема сравнительной оценки характера распределения амплитуд профиля (а), б) профили и их плотности распределения ординат безразмерного профиля, в) наложение профилей и их функций плотностей распределения ординат безразмерных профилей



### 1.3. ОЦЕНКА ШЕРОХОВАТОСТИ, ВОЛНИСТОСТИ И ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

На практике необходимо проводить как суммарную, так и отдельную оценку характеристик поверхности, а разделение волнистости и шероховатости с помощью механической и электрической фильтрации, не очень удобно. Поскольку неизвестно какие из отклонений исключены, то использование ЭВМ позволяет устранить этот недостаток.

Профиль сигнала в ЭВМ вводят с помощью преобразования Фурье, получая амплитудный спектр. По нему можно точно определить частоту и амплитуду любой гармоники и оценить, к какому виду отклонений она относится, исключив из рассмотрения не нужные.

Пути обратного преобразования Фурье, преобразовав амплитудный спектр, получаем профиль, в котором исключены несущественные характеристики. Этот профиль обрабатывается любым способом для получения необходимых нам характеристик микрогеометрии поверхности.

Таким образом, прямые и обратные преобразования Фурье профилей дают возможность наиболее полно и точно анализировать и оценивать все виды отклонений реальной поверхности как качественно, так и количественно.

Это просто показать на примере. При установке детали на стол профилографа высокую точность установки получить не удастся, что приводит к неправильным выводам о свойствах поверхности.

С помощью амплитудного спектра профиля по амплитуде самой низкочастотной гармоники (с частотой близкой к нулю) можно судить о точности установки детали и отклонениях формы. Исключая эту гармонику обратным преобразованием Фурье получаем профиль, в котором погрешности установки полностью исключены. Это позволяет повысить точность оценки и исключить необходимость тщательной установки детали на столе профилографа-профилометра.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ОЦЕНКЕ И КОНТРОЛЮ МИКРОГЕОМЕТРИИ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ**

### **Лабораторная работа № 1 ОЦЕНКА ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ОТКЛОНЕНИЙ ПРОФИЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЕГО ФИЛЬТРАЦИИ**

#### **Цель работы**

1. Качественная и количественная оценка влияния помех на критерии оценки микрогеометрии.
2. Качественная и количественная оценка шероховатости, волнистости, отклонений формы, помех и их всевозможных комбинаций.

#### **Теоретические сведения**

В настоящее время применение ЭВМ позволяет значительно расширить возможности оценки микрогеометрии. ЭВМ позволяет наряду с быстрым и точным расчетом любых параметров профиля визуализировать и использовать непараметрические критерии оценки микрогеометрии, такие как функции и плотности распределения ординат и функции и плотности распределения тангенсов углов наклона профиля, каждая из которых содержит полную информацию об отклонениях профиля. [3]

В зависимости от конкретных условий на эксплуатационные свойства поверхности влияет суммарное отклонение от номинальной поверхности или отклонения в определенном сочетании, или какая-нибудь отдельная характеристика (волнистость, шероховатость, отклонения формы).

Например, на антикоррозионные свойства поверхности влияет, прежде всего, её шероховатость (при прочих равных условиях), а на качество работы сопряжении - волнистость, шероховатость и отклонения формы [9].

Каждый вид отклонений принято оценивать определёнными критериями, но на практике необходимо производить как суммарную, так и отдельную этих характеристик поверхности.

При оценке отклонений формы волнистость, и особенно шероховатость, вообще не учитывают вследствие их сравнительной малости.

Применение ЭВМ позволяет, с помощью, преобразования Фурье получать амплитудный спектр профиля. По нему можно определить частоту и амплитуду любой гармоники и оценить, к какому виду отклонений поверхности они относятся. В амплитудном спектре можно исключить (сделать равным нулю) любое количество гармоник и оставить

только те, которые нас интересуют в данный момент. Например, можно исключить самую низкую гармонику, частота которой близка к нулю, относящуюся к отклонениям формы, или исключить гармоники шероховатости, оставив одну волнистость и т.д. Путём обратного преобразования Фурье оставшихся гармоник амплитудного спектра получаем профиль, содержащий только интересующие нас отклонения поверхности, например, шероховатости, либо волнистости, либо отклонений формы, или их всевозможных комбинации.

Следует иметь в виду, что использование преобразований Фурье - рациональный и необходимый, а иногда единственно возможный способ достижения необходимой точности определения отклонений. При оценке шероховатости с помощью профилографа-профилометра необходимо, например, тщательно установить деталь, чтобы стрелка прибора при снятии профиля не выходила за определённые пределы шкалы. Погрешности установки детали на столе прибора даже в допустимых пределах вносят ошибку в определённые критерии шероховатости. Для установки некоторой детали "неудобной" формы требуется много времени, а иногда необходимую точность их установки получить не удастся. Наряду с искажением критериев шероховатости эти погрешности установки, а также отклонения формы делают незаметными на их фоне изменения шероховатости и приводят к неправильным выводам её влияния на функциональные свойства поверхности. А с помощью амплитудного спектра профиля по амплитуде самой низкой гармоники можно судить о точности установки детали, и, исключив эту гармонику, обратным преобразованием Фурье получить профиль, в котором погрешности установки полностью устранены.

Этот метод позволяет не только повысить точность оценки отклонений, но и исключить необходимость тщательной (часто трудоёмкой) установки детали на столе профилографа-профилометра.

Из выше изложенного следует, что использование амплитудного спектра профиля позволяет решить не только проблему фильтрации помех и погрешностей установки, но и детальнейшим образом конкретизировать влияние тех или иных отклонений на функциональные свойства поверхности.

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с работой программы PROFIL, предназначенной для обработки профилей поверхности (смотри приложение 1).
2. Запустить программу PROFIL.
3. Выбрать в главном меню пункт <Загрузить профиль >.

4. Из списка выведенных на экран файлов с расширением \*.dat, открыть указанный преподавателем файл с данными о профиле, для чего необходимо ответить на запрос <Ввести имя файла.>.
5. После открытия файла вычислить параметрические и непараметрические критерии профиля, для этого из меню работы с профилем выбрать пункт <Характеристики>.
6. Сохранить отчет в графическом файле формата \*.rsx.
7. После возврата в меню работы с профилем, с помощью пункта <Удалить гармоники> удалить гармонику соответствующую волнистости (первую гармонику из амплитудного спектра).
8. Повторить пункты 5,6.
9. Удалить из полученного в пункте 7 амплитудного спектра гармоники, характеризующие шероховатость поверхности.
10. Повторить пункты 5,6.
11. После возврата в меню работы с профилем выбрать пункт <Возврат спектра> для восстановления первоначального значения элементов массива "спектр" (до первого удаления).
12. Удалить гармоники, относящиеся к помехам.
13. Повторить пункты 5,6.
14. Удалить из амплитудного спектра все гармоники, кроме гармоники, характеризующей волнистость.
15. Повторить пункты 5,6.
16. Вывести на печать все файлы формата \*.rsx.
17. Закройте программу PROFIL, для этого выберите пункт из меню работы с профилем <Выход>, а затем из главного меню программы - <Выход>.
18. Свести в таблицу параметрические критерии всех вариантов фильтрации.
19. Сделать наложение опорных кривых и функций плотности распределения ординат.
20. На основании вариантов фильтрации профилей, таблиц с параметрическими критериями всех вариантов фильтрации и наложения опорных кривых и функций плотности распределения ординат, сделать выводы о возможностях и необходимости фильтрации.

### **Содержание отчета**

1. Цель лабораторной работы.
2. Сводная таблица параметрических критериев всех вариантов фильтрации.
3. Распечатки файлов формата .rsx,
4. Наложения опорных кривых и функций плотности распределения ординат.

5. На основании таблицы и наложения опорных кривых и функций плотности распределения ординат сделать выводы о влиянии применения фильтрации на параметрические и непараметрические критерии оценки микрогеометрии.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные причины применения фильтрации?
2. Как произвести фильтрацию профиля, используя прямое и обратное преобразование Фурье?
3. С помощью каких математических преобразований возможно получение функций плотности распределения ординат?

## **Лабораторная работа №2** **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ** **ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПРИТИРКИ**

### **Цель работы**

Исследование изменения микрогеометрии керамической поверхности в процессе притирки, с использованием параметрических и непараметрических критериев.

### **Теоретические сведения**

Увеличение долговечности трущихся поверхностей зависит от их износостойкости. [8]

Следует заметить, что основные факторы, определяющие интенсивность изнашивания, можно разбить на четыре группы:

- внешние условия трения (окружающая среда, смазка ...),
- физико-механические свойства материала,
- режимы работы узла трения,
- микрогеометрические характеристики изнашиваемой поверхности.

Данная лабораторная работа направлена на исследование, только изменения микрогеометрии поверхности в процессе трения, т.е. в процессе износа.

До последнего времени исследование проблемы влияния микрорельефа поверхности на износ проводили при помощи

параметрического описания, и на основе этих исследований было выделено три основных стадии износа (рис. 5.).

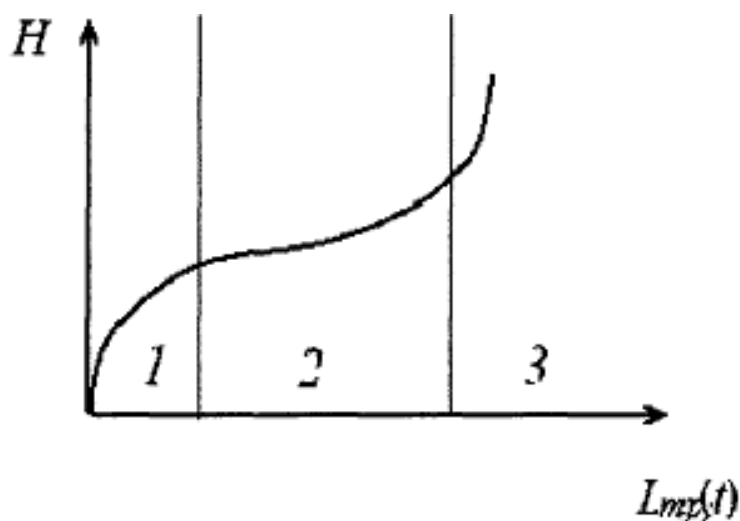


Рис.5. Типичная кривая зависимости интенсивности изнашивания от времени приработки

Приработка - неравновесная стадия процесса изнашивания, доля которой в общем, ресурсе времени работы сопряжения мала. Она характеризуется значительной степенью изнашивания  $dH/dL_{ip}$ , где  $H$  - износ,  $L_{ip}$  - путь трения, которая по мере работы сопряжения падает.

По мнению Крагельского И.В., в начальный период приработки участвует небольшое количество контактирующих между собой выступов, вследствие чего истинные напряжения на образовавшихся площадках могут быть велики, поэтому происходит интенсивное разрушение неровностей, полученных при механической обработке, их дробление и пластическое деформирование, сопровождающееся наклёпом поверхностного слоя. Далее, в результате приработки происходит сглаживание наиболее выступающих неровностей, с частичным или полным уничтожением первичной микрогеометрии поверхностей. [7]

Оригинальный способ определения окончания процесса приработки предложил Ю.Г.Шнейдер. Способ заключается в определении этого времени по образованию сплошной масляной плёнки между прирабатываемыми деталями, которая, сформировавшись, автоматически разрывает электрическую цепь часового сигнального устройства.

Вторая стадия процесса, самая продолжительная во времени, характеризуется, согласно Крагельскому И.В., постоянным значением интенсивности изнашивания,  $dH/dL_{ip} = const$ . Также, считается, что после процесса приработки устанавливается, так называемая, "равновесная" шероховатость, которая характеризуется постоянством параметрических критериев ( $Ra$ ,  $Rz$ )

Третья стадия процесса - катастрофический износ. Однако следует заметить, что исследования, базирующиеся на стандартных параметрических критериях, определяют лишь отдельные усреднённые характеристики отклонений поверхности, что не позволяет точно определить вид микрорельефа поверхности. Поэтому, при использовании более информативных непараметрических критериев, таких как плотности распределения ординат профиля, тангенсов углов наклона, а также функций распределений этих величин, оказалось, что при одинаковых величинах параметрических критериев оценки микрорельефа, указанные выше непараметрические критерии непрерывно изменяются. Это позволяет сделать вывод о том, что никакой "установившейся" ("равновесной") шероховатости нет. Более того, анализ функции распределения ординат профилей показал, что микрорельеф исследуемых поверхностей меняется циклически, хотя период цикла этих изменений пока установить не удалось.

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Притирка используемого образца в течение заданного времени.
2. Запись профилей и их анализ через установленный интервал времени притирки образцов.
3. Установление характера (закономерностей) изменения микрорельефа поверхности образца в процессе его притирки.

Притирка образцов производится на полировочно-доводочном станке первой группы сложности по ОСТ 3-2408-74 2ПД-200, предназначенном для тонкого шлифования, полирования и доводки сферических и плоских поверхностей, одиночных заготовок или блоков заготовок деталей диаметром от 100 до 200мм.

Для проведения лабораторной работы необходимо предварительно приклеить образцы на полировочно-доводочное стекло, к которому с обратной стороны прикреплён хвостовик. При полировании применяется абразивная паста на основе окиси хрома ( $CrO_3$ ), выпускаемая по ГОСТу 2912-79 и представляющая собой абразивный материал тёмно-зелёного цвета. В качестве полировального круга используется полировальное стекло с нанесённой на его поверхность полировочной смолой.

Технические характеристики полировочно-доводочного станка  
2ДП200:

1. Диаметр обрабатываемых заготовок или блоков, мм - 100-200;
2. Отношение стрелки прогиба линзы к её радиусу, - 0-1;
3. Количество шпинделей, шт – 2;
4. Частота вращения шпинделя поводка, об/мин - 5-100;

5. Усилие нажатия поводка, кгс - 0.5-3;
6. Длина штриха, мм - 0-180;
7. Шероховатость обработанной поверхности по ГОСТу 2789-77, не грубее:
  - шлифованной -  $Ra = 0.63$
  - полированной –  $Rz = 0.08$ ;
8. Суммарная мощность электродвигателя, кВт - 2.55;
9. Масса, кг – 1460.

Следует заметить, что пластина притирается на станке при неизменном режиме и времени для каждого цикла притирки. После каждого цикла с пластины снимают профилографом-профилометром, который через АЦП подключён к ПК, профилограммы в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В базе данных компьютера данные хранятся в файлах с расширением .dat. Каждому измерению соответствует свой уникальный номер, который представлен в следующем виде: A BC D E, где A-личный номер пользователя в базе данных (6), BC - номер измерения (от 01 до 22), D- порядковый номер детали (1), E- направление, в котором была снята профилограмма (1-паралельное, 2-перпендикулярное).

Далее в программе "PROFIL 98" производится обработка файлов из базы данных, и результаты выводятся на принтер.

Однако следует заметить, что профиль поверхности, снятый при помощи профилографа-профилометра, включает в себя множество шумов и погрешностей. В программе "PROFIL 98" реализован процесс фильтрации профилей с помощью амплитудного спектра профиля (в данном случае это волнистость и погрешность установки – 1<sup>я</sup> и 2<sup>я</sup> гармоники). Удаление шумов рекомендуется выполнять для каждого профиля в отдельности. В программе "PROFIL 98" реализованы параметрические ( $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rq$ ,  $Rm$ ,  $Sm$ ) и непараметрические (плотность распределения ординат профиля, плотность распределения ординат безразмерного профиля, плотность распределения углов наклона профиля, а также функции распределения ординат и тангенсов углов наклона) критерии, что позволяет качественно оценить микрогеометрию поверхности.

### **Исходные данные для поведения лабораторной работы**

1. Режим притирки

Скорость вращения шпинделя станка Ушп = 22 об/мин



Длина штриха 120 мм  
 Усилие нажатия поводка  $R_{пов} = 1$  кгс  
 Время каждого цикла притирки 1-5 мин.

## 2. Материал образца

Корундовая керамика марки 22ХС.

Химический и фазовый состав керамики марки 22ХС приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Материал	Химический состав, %						Фазовый состав, %	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	Кристаллическая фаза	Стекловидная фаза
22ХС	95-94	2.5	0.03	0.48	1.96	0.2	88-89	12-11

## Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Материал образца.
3. Эскиз образца.
4. Технические характеристики станка.
5. Режим притирки.
6. Таблицы с параметрическими критериями (Ra,Rz,Rq,Rm,Sm).
7. Распечатки с непараметрическими критериями (плотность распределения ординат профиля, плотность распределения ординат безразмерного профиля, плотность распределения тангенсов углов наклона профиля, а также функции распределения ординат и тангенсов углов наклона).
8. Выводы.

## Контрольные вопросы

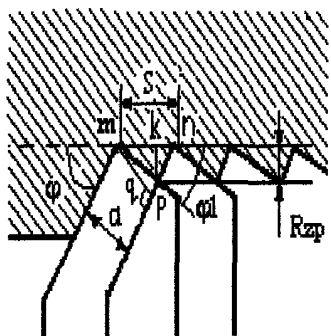
1. Какие факторы влияют на износостойкость поверхности?
2. Что понимают под "равновесной" шероховатостью?
3. Почему понятие "равновесной" шероховатости некорректно?

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ

#### Теоретические сведения

При изучении шероховатости поверхности её делят на расчетные и действительные неровности [5]. Высота и форма расчетных неровностей определяется геометрически (рис. 1) и вычисляется по формулам таблицы 1 (если резец имеет круговое переходное лезвие), принимая следующие допущения:

1. Обрабатываемый материал считается абсолютно недеформируемым;
2. Система СПИД - абсолютно жёсткой;
3. Лезвия инструмента представляют собой геометрические линии.



$$R_{ZP} = pk$$

$$R_{ZP} = mn \sin \varphi_1,$$

$$mn = mq / (\sin \angle mpq) = a / \sin(\varphi + \varphi_1) = s \sin \varphi / \sin(\varphi + \varphi_1),$$

$$R_{ZP} = s \sin \varphi \sin \varphi_1 / \sin(\varphi + \varphi_1).$$

Рис.6. Расчётный профиль микрогеометрии поверхности, обработанной точением

Таблица 2

$\varphi_1$	$\varphi < \arcsin(s/2r)$	$\varphi > \arcsin(s/2r)$
$< \arcsin(s/2r)$	$R_{ZP} = \frac{\sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} * (s - r (\operatorname{tg}(\varphi/2) + \operatorname{tg}(\varphi_1/2)))$	$R_{ZP} = r (1 - \cos \varphi_1) + s \frac{\sin \varphi_1 \cos \varphi_1}{\sin \varphi} \sqrt{s \sin \varphi (2r - s \sin \varphi)}$
$> \arcsin(s/2r)$	$R_{ZP} = r (1 - \cos \varphi) + \frac{s * \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi}{\sqrt{s \sin \varphi (2r - s \sin \varphi)}}$	$R_{ZP} = r - (\sqrt{4r^2 - s^2})/2$

Действительные неровности или просто неровности - это те микронеровности, которые возникли на обработанной поверхности после прохода режущего инструмента.

Исходя из формул табл.2, в которой приведены формулы для расчёта  $R_{zp}$ , видно, от каких параметров зависит высота расчетных неровностей, однако реальные неровности по форме и высоте отличаются от расчетных неровностей и превышают их по величине. По сравнению с расчетным, реальный микропрофиль теряет свою регулярность и  $R_z > R_{zp}$ . [6]

Это объясняется следующими причинами:

- пластическим течением материала из зоны первичной деформации в сторону вершин микронеровностей;
- колебаниями детали и инструмента во время обработки;
- трением задних поверхностей инструмента о поверхность резания;
- неровностями лезвий инструмента, которые возрастают по мере его изнашивания;

Следует заметить, что помимо четырёх основных причин и тех же факторов, что влияют на высоту расчетных неровностей, на микрогеометрию поверхности воздействуют свойства материала и условия трения на контактных поверхностях инструмента. (СОЖ, склонность материала к наростообразованию и т.д.), причём суммарное воздействие вышеуказанных факторов при изменении режимов обработки различно.

Таким образом, микрогеометрия поверхности зависит от многих факторов, в том числе и от режимов резания. В данном цикле лабораторных работ исследуется влияние конструктивно-технологических факторов на микрогеометрию поверхности, для этого будут применены параметрические и непараметрические критерии и фильтрация (волнистости, шероховатости, шумов...).

### **Контрольные вопросы**

1. Чем отличается расчетная шероховатость от действительной и в чем причины этого отличия?
2. Назовите факторы, влияющие на формирование микрогеометрии поверхности?
3. Какой из факторов (группы факторов) считается решающим?

**Лабораторная работа №3**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАЧИ ПРИ ТОЧЕНИИ**  
**НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ**

**Цель работы**

Выявление и изучение влияния подачи на формирование микрогеометрии точеных поверхностей, с помощью параметрических и непараметрических критериев.

**Исходные данные**

1. Материал образца

Углеродистая сталь 35 ГОСТ1050-74

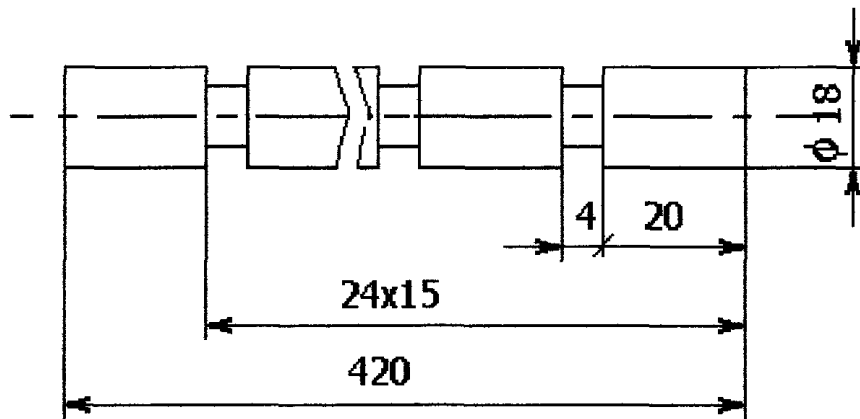


Рис.7. Образец для выполнения лабораторной работы

Образец (Рис.7) был обработан на токарно-винторезном станке 1К62, без применения СОЖ, при неизменных условиях обработки (кроме подачи, которая на каждом из 15 участков своя).

2. Условия обработки

2.1.Режимы резания

Скорость резания  $V = 19,4$  м/мин (при  $n = 2000$  об/мин) глубина резания  $t = 1$  мм.

## 2.2. Инструмент

Токарный подрезной отогнутый резец (ГОСТ 18880-73, предназначен для обтачивания заготовок с большим отношением длины заготовки к диаметру). Резец был оснащён пластиной типа 06 из твёрдого сплава Т5К10 (ГОСТ 25397-82).

Геометрические характеристики резца:

1. Главный передний угол,  $\gamma = 10^\circ$ ;
2. Главный задний угол,  $\alpha = 8^\circ$ ;
3. Главный угол в плане,  $\varphi = 100^\circ$ ;
4. Вспомогательный угол в плане,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ;
5. Угол наклона главного режущего лезвия,  $\lambda = 0^\circ$ ;
6. Радиус при вершине резца,  $\rho = 0,6$  мм.

## 2.3. Измерительная установка

Контроль микрогеометрии поверхности производится на установке ИВК "Профиль" включающей

- стандартный прибор измерения шероховатости КАЛИБР 250;
- интерфейс связи прибора с IBM - совместимым компьютером;
- пакет прикладных программ, обслуживающих комплекс в процессе измерения и анализа микрогеометрии.

### **Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Установить деталь на предметном столе КАЛИБРА 250.
2. Открыть программу PROFIL98
3. Из главного меню программы выбрать пункт <Новый профиль>, который запускает процедуру считывания данных из последовательного порта, в который поступают сигналы с профилограф-профилометра, после ответов на запросы программы (подробное описание работы с программой PROFIL содержится в приложении 1.).
4. После записи профиля с первого кольца, в направлении продольной оси вала, необходимо отфильтровать полученный профиль. Для этого воспользуйтесь меню работы с конкретным профилем, <Удалить гармоники>, в котором произвести удаление гармоник, которые соответствуют отклонениям формы и шумам.
5. После этого отфильтрованный профиль оценить с помощью пункта меню работы с профилем <Характеристики>.
6. Сохранить в графическом файле .rsx отфильтрованный профиль, его параметрические и непараметрические характеристики.

7. Повторить пункты 3-6 для оставшихся четырнадцати участков детали.
8. Закрыть программу PROFIL98.
9. Сделать наложение функций распределения ординат профиля и опорных кривых для всех подач.
10. Вычислить по формулам таблицы 1 теоретические значения  $R_{zp}$  для всех подач.
11. Свести все параметрические критерии, в том числе и  $R_{zp}$  для каждой подачи в таблицу.
12. Начертить графики зависимостей всех параметров от подач.
13. Распечатать все файлы формата .rsx, содержащие отфильтрованные профили, а также параметрические и непараметрические характеристики.
14. На основе распечаток профилей с параметрическими и непараметрическими критериями, наложений функций распределения ординат профиля и опорных кривых для всех подач и таблицы с параметрическими критериями для всех подач, сделать выводы о влиянии подачи на формирование микрорельефа и о причинах отличия теоретических значений параметрических критериев от действительных.
15. Оформить отчет, который должен содержать в себе следующую информацию:
  - а) Название и цели работы.
  - б) Исходные данные к работе.
  - в) Распечатки профилей с параметрическими и непараметрическими критериями.
  - д) Наложения функций распределения ординат профиля и опорных кривых для всех подач.
  - е) Таблицы с параметрическими критериями для всех подач.
  - ж) Выводы о влиянии подачи на формирование микрорельефа и о причинах отличия теоретических значений параметрических критериев от действительных.

**Лабораторная работа №4**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО КЛИНА НА**  
**ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ**  
**ПРИ ТОЧЕНИИ**

**Цель работы**

Изучение влияния геометрии режущего клина на формирование микрогеометрии поверхности.

**Исходные данные**

1. Эскиз образца представлен на рис.8

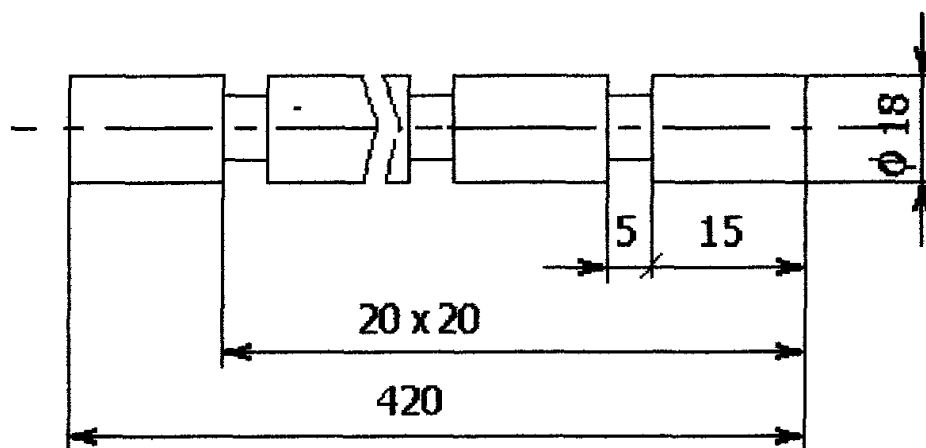


Рис.8. Эскиз образца для выполнения лабораторной работы

2. Условия обработки

2.1. Режимы резания

Были обработаны четыре цилиндрические заготовки на токарно-винторезном станке модели 1И611, при неизменных режимах резания. Подача  $S=0,1$  мм/об, скорость резания  $V=120$  м/мин (при  $n=4600$  об/мин), глубина резания  $t=0,5$  мм.

2.2. Инструмент

При точении заготовок использовалось четыре проходных отогнутых токарных резца с пластинами из сплава Т15К6.

Каждым из четырёх резцов была обработано пять поясков у заготовки.

У каждого резца пять раз менялась геометрия режущего клина (резец перезатачивался):

- резец 1 - изменили главный задний угол (таб.3);
- резец 2 - изменили главный передний угол (таб.4);
- резец 3 - изменили главный угол в плане (таб.5);
- резец 4 - главный передний угол и главный угол в плане (таб.6);

Таблица 3

$\alpha$ , град.					$\gamma$ , град.	$\varphi$ , град.	$\varphi_1$ , град.
$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$			
14	22	26,5	35	42	6,5	45	45

Таблица 4

$\alpha$ , град.	$\gamma$ , град.					$\varphi$ , град.	$\varphi_1$ , град.
6	2	11,5	22	30	35	45	45

Таблица 5

$\alpha$ , град.	$\gamma$ , град.	$\varphi$ , град.					$\varphi_1$ , град.
6	9	45	59	64	77	80	45

Таблица 6

$\alpha$ , град.	$\gamma$ , град.					$\varphi$ , град.					$\varphi_1$ , град.
13	2	7	21	23	25	45	62	68	79	83	45

### Порядок выполнения работы

1. Открыть программу PROFIL98.
2. Открыть по очереди файлы, номера которых укажет преподаватель.
3. Отфильтровать с помощью амплитудного спектра исследуемый профиль, для чего необходимо выбрать пункт меню работы с



профилем <Удалить гармоники>, удалить гармоники, которым соответствуют шум и отклонения формы.

4. Выбрать пункт меню работы с профилем <Характеристики> и оценить отфильтрованный профиль.
5. Сохранить в формате .rsx характеристики профиля.
6. Свести в 4 таблицы параметрические критерии для каждого резца.
7. Сделать наложения функций распределения ординат профиля и опорных кривых для каждого резца в отдельности.
8. Основываясь на результатах фильтрации профилей, проанализируйте, с помощью непараметрических и параметрических критериев, влияние геометрии режущего клина на формирование микрогеометрии поверхности.
9. Оформить отчет, который должен содержать в себе следующую информацию:
  - а) Название и цели работы.
  - б) Исходные данные к работе.
  - в) Распечатки профилей с параметрическими и непараметрическими критериями.
  - г) Наложения функций распределения ординат профиля и опорных кривых для каждого резца в отдельности для каждого резца.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металла. - М.: Машиностроение, 1975, с.344.
2. Валетов В.А Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. Учебное пособие. - Л.: ЛИТМО, 1989, с. 100.
3. Валетов В.А. Оценка шероховатости волнистости отклонений формы с помощью ЭВМ.-В кн.: Технология судостроения, судового машиностроения, обработка металлов и сварка. / Лен. Кораблестроительный ин-т, 1980г., с. 133-135.
4. ГОСТ 2789-73, ГОСТ 2.309-73 ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ. -М.:Издательство стандартов, 1975, с.24
5. Вульф А.М Резание металлов. Изд. 2-е. - Л.: Машиностроение 1973, с. 496
6. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин. - М.:Машиностроение, 1981г.
7. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. -М.: Машиностроение, 1978.
8. Дьяченко П.Е. Влияние качества поверхности на её износ. - В кн. Качество поверхности и контакт деталей машин. - Л.: Машгиз., 1950г., с. 20-31.
9. Хусу А.П., Виттенберг Ю.Р., Палыпов В.А. Шероховатость поверхностей. М.: Наука, 1975г., 344с.



Кафедра технологии приборостроения была создана как ведущая и обслуживала чтением лекций по курсу “Технология приборостроения” все выпускающие кафедры ВУЗа. На заведование кафедрой был приглашен профессор Знаменский А.П. – главный инженер завода ГОМЗ, автор первого “Справочника Metallista”, известного во многих странах мира. Преподавателями и сотрудниками кафедры были приглашены высококвалифицированные специалисты, в основном работники промышленности – проф. Соколов - главный инженер инструментального завода им. Васкова, Буталов В.И., Бельфир, Казак и др. Нужно отметить, что до 1961года кафедра была слабо оснащена оборудованием и поэтому большое время уделялось прохождению практики непосредственно на заводах “ГОМЗ”, “Красногвардеец”, “Пишмаш” и др., где давались хорошая подготовка, как по работе на станках, так и по разработке грамотных технологических процессов. В 1951г. в кафедру влились кафедры станков и теории резания. После смерти А.П.Знаменского заведующими кафедрой были сотрудники института проф. Барун В.А., Маталин А.А., Соболев Н.П., научные труды которых использовались в качестве учебников. Учитывая длительный срок эксплуатации, оборудование устарело и было изношено. При кафедре имелись небольшие мастерские (25 токарных станков “ДИП”, 3 фрезерных станка “Красный пролетарий” и другое вспомогательное оборудование). По своей оснащенности она не удовлетворяла качества подготовки инженеров-технологов. На кафедре ученое звание профессора имел только Н.П.Соболев – заведующий кафедрой.

В 1962 году, после смерти профессора Соболева Н.П. заведующим кафедрой был избран лауреат Ленинской премии, д.т.н., профессор С.П.Митрофанов, прошедший школу по всем этапам производства: механика, начальника технологического и конструкторского бюро, главного технолога завода, начальника производства и главного инженера завода “ГОМЗ”. В течение шести лет, с 1954 по 1961 год, он курировал всю промышленность и науку города и Ленинградской области, работая секретарем Ленинградского ОК КПСС.

Началась коренная перестройка кафедры. Сдано в металлолом все старое оборудование, расширены площади и за счет помощи заводов созданы участки: токарный, револьверный, фрезерный, кабинет по режущему инструменту. Вместо старых моделей оборудования были установлены станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, агрегатные станки, роботы и т.д.

Началась как перестройка учебных планов, так и освоение новых типов оборудования. Потребовались новые кадры. На кафедру пришли проф. Глазов Г.А. и бывший главный инженер ГОМЗа Пер А.Г. Решению этой задачи очень сильно помог Министр оборонной промышленности Д.Ф.Устинов, его зам С.Д.Зверев и руководители ряда промышленных предприятий Ленинграда. В связи с этим значительно повысился уровень подготовки будущих специалистов. Наряду с мастерскими механообработки были созданы электрофизическая и электрохимическая лаборатории, лаборатория лазерной технологии.

Кроме учебных лабораторий в 1964 году была создана отраслевая лаборатория по технологии и организации группового производства, ведущая НИР со многими предприятиями не только страны, но и ГДР, ЧССР, Болгарией, Венгрией, Великобританией и др. Из ряда стран приезжали на стажировку специалисты, изучали опыт и внедряли на своих промышленных предприятиях. Наряду с этой отраслевой лабораторией были созданы еще две лаборатории – по микрорельефу и лазерной технологии. В решении ряда вопросов активно участвовали студенты и аспиранты кафедры технологии, делая курсовые и дипломные проекты, кандидатские диссертации. За несколько лет эту школу прошли все студенты института. Кафедра и ее лаборатории стали поставщиком кадров не только для нашего ВУЗа, но и ВУЗов других регионов. За время работы с 1964 года подготовлено более 100 к.т.н. и несколько д.т.н.

В настоящее время на кафедре работают 7 профессоров и 9 доцентов.

С.П.Митрофанов оставил заведование кафедрой в связи с возрастом, оставаясь профессором кафедры. С 1998 года кафедру возглавлял проф. Н.Д.Фролов. В настоящий момент кафедру возглавляет Б.С. Падун.

**Вячеслав Алексеевич Валетов  
Сергей Дмитриевич Третьяков**

**ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**  
Учебное пособие

**В авторской редакции**

**Зав.редакционно-издательским отделом**

**Н.Ф. Гусарова**

**Объем 28 стр. Тираж 100экз. Подписано к печати 5.12.2005**

---

**Редакционно-издательский отдел  
Санкт-Петербургского государственного университета  
информационных технологий механики и оптики  
Лицензия ИД №00408 от 05.11.99**

**Редакционно-издательский отдел  
Санкт-Петербургского государственного  
университета информационных технологий  
механики и оптики**

**197101, Санкт-Петербург , пр.Кронверкский, д.49**

