Министерство образования и науки Украины
Донецкий государственный технический университет
Кафедра “Технология машиностроения”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по курсу
“Методы повышения качества машин”

Донецк ДГТУ 2000

Министерство образования и науки Украины
Донецкий государственный технический университет
Кафедра “Технология машиностроения”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по курсу
“Методы повышения качества машин”
(для студентов специальности 7.090202
“Технология машиностроения)

Утверждено
на заседании кафедры
протокол № 8
от “26” января 2000 г.

Рекомендовано к изданию
учебно-издательским
советом ДонГТУ
протокол № 4
от “27” апреля 2000 г.

Донецк ДГТУ 2000

УДК 621.75.008.001.2 (071)

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Методы повышения качества машин” (для студентов специальности 7.090202 “Технология машиностроения)/ Сост.: Т.Г. Ивченко, В.В. Польченко. - Донецк: ДГТУ, 2000. - 24 с.

Приведены перечень и структура лабораторных работ по дисциплине “Методы повышения качества машин ”, их цели, задачи, содержание, применяемое оборудование, объем и последовательность выполнения. Даны указания по проведению лабораторных работ, обработке результатов экспериментов. Приведен список рекомендуемой литературы.

Составители Т.Г. Ивченко, доц.
В.В. Польченко, доц.

Отв. за выпуск А.Н. Михайлов, проф.

Рецензент Л.П. Калафатова, доц.

Лабораторная работа № 1

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Цель работы: Изучение и сравнение теоретических и экспериментальных методов определения параметров шероховатости поверхности детали при лезвийной обработке; исследование влияния условий обработки на параметры шероховатости при точении

1 Теоретические сведения

Расчетная высота неровностей профиля шероховатости R_Z, мкм, с учетом значений главных φ и вспомогательных углов в плане φ_1 [1]:

При значениях $\varphi < \arcsin\frac{s}{2r}; \varphi_1 < \arcsin\frac{s}{2r}$:

$$R_z = \frac{r(1-\cos\varphi)}{\cos\gamma} + \frac{tg\varphi \cdot tg\varphi_1 (s - r(\sin\varphi + \sin\varphi_1)) - r \cdot tg\varphi(\cos\varphi_1 - \cos\varphi)}{\cos\gamma \cdot (tg\varphi_1 + tg\varphi)} +$$

$$+ b_{сдв} / (1/tg\varphi + 1/tg\varphi_1) + R_{ин}$$

При значениях $\varphi \geq \arcsin\frac{s}{2r}; \varphi_1 \geq \arcsin\frac{s}{2r}$:

$$R_z = \frac{r}{\cos\gamma} - \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2\cos\gamma} + \frac{b_{сдв}(2s + b_{сдв})}{32r} + R_{ин}$$

При значениях $\varphi \geq \arcsin\frac{s}{2r}; \varphi_1 < \arcsin\frac{s}{2r}$:

$$R_z = \frac{r \cdot (1-\cos\varphi_1) + \sin\varphi_1 \left[s \cdot \cos\varphi_1 - \sqrt{s \cdot \sin\varphi_1 (2r - s \cdot \sin\varphi_1)} \right]}{\cos\gamma} +$$

$$+ b_{сдв} / (1/tg\varphi + 2r/s) + R_{ин}$$

где γ- передний угол резца; S- подача, r – радиус при вершине, $R_{ин}$ - высота неровностей профиля шероховатости на вершине резца, $b_{сдв}$ - величина пластического оттеснения при резании.

Величина пластического оттеснения определяется по формуле:

$$b_{сдв} = 0.5\rho(1 - 2\tau_0 / \sigma_T),$$

где ρ- радиус округления режущей кромки инструмента; $\sigma_т$- предел текучести обрабатываемого материала; τ_o- удельная сдвиговая прочность молекулярных связей.

Для расчета τ_o и температуры в зоне резания T используются эмпирические уравнения:

$$\tau_o = 500/9.81\left(l^{-a(T+273)/100+b} + c\right), T = \frac{P}{10^3 \alpha F}\sigma(tS)^m V^l + 20^\circ;$$

где a, b, c, p, m, l - эмпирические коэффициенты, α - коэффициент линейного расширения материала инструмента; F - площадь его поперечного сечения; σ - временное сопротивление разрыву материала инструмента, t - глубина резания, V - скорость резания

2 Приборы и оборудование

Токарно-винторезный станок модели16К20; прибор для измерения шероховатости - профилометр № 283; детали типа тел вращения, обработанные в различных условиях; валик цилиндрической формы, диаметром 40 мм, материал - сталь 45 ГОСТ 1050-88; резцы с механическим креплением твердосплавных и минералокерамических пластин

3 Содержание и порядок выполнения работы

3.1 Прогнозирование параметров шероховатости поверхности детали

1. Измерить параметры шероховатости обработанной поверхности деталей, полученной при различных условиях обработки. Результаты измерений занести в протокол измерений - табл. 1

Таблица 1- Протокол измерений шероховатости поверхности

Номер детали	Параметры шероховатости поверхности, мкм					Среднее значение *Ra*
	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	
1						
…						

2. В соответствии с условиями обработки измеренных деталей произвести расчеты параметров шероховатости обработанной поверхности по представленным теоретическим зависимостям. Результаты расчетов представить в табл. 2

Таблица 2. Условия обработки деталей и результаты расчетов

№ п/п	Параметры обработки			Режимы резания			Результаты расчетов		
	Обраб. материал	Инстр материал	Парам резца φ,φ_1,γ; r,мм	Скорость V, м/мин	Подача S мм/об	Глубина t, мм	Расчетное Rap	Эксперим. $Raэ$	Ошибка, δ,%
1									
.									

3. Сравнить значения параметров шероховатости обработанной поверхности деталей, определенных теоретически и экспериментально. Вычислить ошибку прогнозирования параметров шероховатости:

$$\delta = 100\left|R_{арасч.} - R_{аэксп.}\right| / R_{арасч.} \cdot$$

3.2 Изучение влияния условий обработки на параметры шероховатости

1. На основании представленных теоретических зависимостей произвести компьютерное моделирование процесса формирования высоты неровностей профиля шероховатости при лезвийной обработке.

По теоретической модели установить влияние на параметр шероховатости R_a основных параметров механообработки при точении: главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане; переднего угла резца γ; радиуса при вершине резца r, скорости резания V, подачи S, глубины резания t. Построить графики указанных зависимостей.

2. Провести полный факторный эксперимент по установлению зависимости параметра шероховатости R_a при точении от условий обработки: подачи S , скорости резания V и главного угла в плане φ.

Представить исследуемую зависимость в виде:

$$R_a(S, V, \varphi) = CS^m V^n \varphi^p,$$

где C, m, n, p –коэффициент и показатели степени влияния параметров обработки на параметры шероховатости.

Экспериментальные исследования и анализ полученных результатов выполняются в соответствии с методикой планирования и обработки результатов эксперимента, представленной в приложении *А*.

4 Содержание отчета

1. Цель работы
2. Протокол измерений шероховатости обработанной поверхности при прогнозировании параметров шероховатости
3. Протокол условий обработки и результатов расчетов параметров шероховатости и ошибки прогнозирования
4. Графики зависимостей параметров шероховатости от условий обработки по результатам анализа теоретической модели
5. Таблица кодирования факторов и матрица планирования экспериментов
6. Протокол результатов экспериментальных исследований
7. Результаты обработки экспериментальных исследований
8. Выводы

Лабораторная работа № 2

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Цель работы: Изучение и сравнение теоретических и экспериментальных методов определения параметров шероховатости обработанной поверхности детали при алмазно-абразивной обработке; исследование влияния условий обработки на параметры шероховатости при шлифовании

1 Теоретические сведения

Расчетная высота неровностей профиля шероховатости R_Z , мкм, при шлифовании [1]:

$$Rz = 10^3 \xi^{\left(N\frac{B}{S_{пр}}-1\right)}\left\{t - \frac{P_y}{j_T} - \frac{P_y\left[E_2\left(1-\mu_1^2\right)+E_1\left(1-\mu_2^2\right)\right]}{4\pi E_1 E_2 S_{пр}}\right.$$

$$\left.\times \ln\frac{4\pi E_1 E_2 (D/2 + d/2) S_{пр}}{P_y\left[E_1\left(1-\mu_2^2\right)+E_2\left(1-\mu_1^2\right)\right]} + \frac{l^2\left(1 \pm V_D/60V_{кр}\right)^2}{4D}\right\} +$$

$$+ \frac{\left(1-2\tau_0/\sigma_T\right)\left[2S + 0{,}5r\left(1-2\tau_0/\sigma_T\right)\right]}{32}$$

где N- число выхаживаний; ξ- коэффициент, зависящий от концентрации зерен; j_T-жесткость технологической системы; t - глубина шлифования; P_y - нормальная составляющая силы резания при шлифовании; $V_д$ - скорость детали; $V_{кр}$ - скорость круга; B- ширина круга; l - длина дуги контакта инструмента с деталью; D и d -диаметры шлифовального круга и детали; μ_1 и μ_2 - коэффициенты Пуассона связки и заготовки; E_1 и E_2 - модуль упругости связки и заготовки; (+) - для наружного шлифования, (-) - для внутреннего шлифования; $\sigma_т$- предел текучести обрабатываемого материала; τ_o- удельная сдвиговая прочность молекулярных связей; r – радиус скругления режущих зерен.

2 Приборы и оборудование

Круглошлифовальный станок модели 3А161; прибор для измерения шероховатости - профилометр № 283; детали типа тел вращения, обработанные в различных условиях; валик цилиндрической формы, диаметром 40 мм, материал - сталь 45 ГОСТ 1050-88; шлифовальные круги.

3 Содержание и порядок выполнения работы

3.1 Прогнозирование параметров шероховатости поверхности детали

1. Измерить параметры шероховатости обработанной поверхности деталей, полученной при различных условиях обработки шлифованием.

Результаты измерений занести в протокол измерений - табл. 1

Таблица 1- Протокол измерений шероховатости поверхности

Номер детали	Параметры шероховатости поверхности, мкм					Среднее значение Ra
	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	
1						
…						

2. В соответствии с условиями обработки измеренных деталей произвести расчеты параметров шероховатости обработанной поверхности по представленным теоретическим зависимостям. Результаты расчетов представить в табл. 2

Таблица 2. Условия обработки деталей и результаты расчетов

№ п/п	Параметры обработки			Режимы резания			Результаты расчетов		
	Обраб. материал	Концент. алмазов ξ	Число выхаживаний N	Скорость $V_д$, м/мин	Подача $S_{пр}$ мм/об	Глубина t, мм	Расчетное Rap	Эксперим. $Raэ$	Ошибка, δ,%
1									
.									

3. Сравнить значения параметров шероховатости обработанной поверхности деталей, определенных теоретически и экспериментально. Вычислить ошибку прогнозирования параметров шероховатости.

$$\delta = 100\left|R_{арасч.} - R_{аэксп.}\right| / R_{арасч.} \cdot$$

3.2 Изучение влияния условий обработки на параметры шероховатости

1. На основании представленных теоретических зависимостей произвести компьютерное моделирование процесса формирования высоты неровностей профиля шероховатости при алмазно-абразивной обработке.

По теоретической модели установить влияние на параметр шероховатости R_a основных параметров механообработки при шлифовании:

числа выхаживаний N, коэффициента, зависящий от концентрации зерен ξ; жесткости технологической системы j_T; ширины шлифовального круга, диаметров круга и детали B, D и d; скорости детали $V_д$, продольной подачи $S_{пр}$, глубины резания t. Построить графики указанных зависимостей.

2. Провести полный факторный эксперимент по установлению зависимости параметра шероховатости R_a при шлифовании от условий обработки: подачи $S_{пр}$, скорости детали $V_д$ и числа выхаживаний N.

Представить зависимость в виде:

$$R_a(S_{пр}, V_д, N) = C\, S_{пр}{}^m\, V_д{}^n\, N^p,$$

где C, m, n, p – постоянный коэффициент и показатели степени влияния параметров обработки на шероховатость.

Экспериментальные исследования и анализ полученных результатов выполняются в соответствии с методикой планирования и обработки результатов эксперимента, представленной в приложении А.

4 Содержание отчета (см. лабораторную работу № 1)

Лабораторная работа № 3

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ

Цель работы: Изучение и сравнение теоретических и экспериментальных методов определения параметров шероховатости обработанной поверхности детали при отделочно-упрочняющей обработке; исследование влияния условий обработки на параметры шероховатости при поверхностно-пластическом деформировании.

1 Теоретические сведения

Расчетная высота неровностей профиля шероховатости R_Z, мкм, для отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием, если инструмент образует круглую и элиптическую площадки контакта [1]:

$$R_z = R_{zucx} + \left[PR_{ucx}^2 \Big/ \pi R_{np}\left(HB_{\max} - HB_{\min}\right)\right]^{1/3} + S/2r + R_{zuн} -$$

$$- R_{Pucx}\left\{\frac{150P\left(1+f^2\right)^{0.5}}{\pi R_{np} t_{mucx} H_\mu\left[\frac{180-\arccos\left(S-a_{пл}\right)/a_{пл}}{180}\left(h_{кин}-h_{уп}\right)+2h_{уп}\right]}\right\}^{0,5}$$

где $R_{z\ исх}$, $R_{p\ исх}$, $t_{m\ исх}$ - исходные параметры шероховатости; P – рабочее усилие; S- подача, R - радиус шарика или поперечный радиус ролика, r- профильный радиус ролика; HB_{max}, HB_{min} - максимальная и минимальная твердость обрабатываемого материала; H_μ - поверхностная микротвердость; $R_{пр}$ – приведенный радиус; f -коэффициент трения; $a_{пл}$ - приведенный радиус пластического отпечатка; $h_{уп}$ – упругое восстановление; $h_{кин}$ - глубина внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность.

2 Приборы и оборудование

Токарно-винторезный станок 16К20; прибор для измерения шероховатости - профилометр № 283; детали типа тел вращения, обработанные в различных условиях. Заготовка – валик цилиндрической формы, диаметром 43 мм, материал – сталь 20 ГОСТ 1050-88. Инструмент - накатник механического типа, однороликовый, с возможностью поворота оси ролика в вертикальной плоскости; ролик цилиндрической формы, диаметр 70 мм, профильный радиус 40 мм, материал – сталь ХВГ ГОСТ 5950-88.

3 Содержание и порядок выполнения работы

3.1 Прогнозирование параметров шероховатости поверхности детали

1. Измерить параметры шероховатости обработанной поверхности деталей, полученной при различных условиях отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием - накатывания роликом. Результаты измерений занести в протокол измерений - табл. 1

Таблица 1- Протокол измерений шероховатости поверхности

Номер детали	Параметры шероховатости поверхности, мкм					Среднее значение *Ra*
	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	
1						
…						

2. В соответствии с условиями обработки измеренных деталей произвести расчеты параметров шероховатости обработанной поверхности по представленным теоретическим зависимостям. Результаты расчетов представить в табл. 2

Таблица 2. Условия обработки деталей и результаты расчетов

№ п/п	Параметры обработки			Режимы резания			Результаты расчетов		
	Обраб. материал	Радиус *r*, мм	Угол поворота α.°	Сила *P*, кН	Подача *S* мм/об	Исходная *Raисх* мкм	Расчетное *Rар*	Эксперим. *Raэ*	Ошибка δ,%
1									
.									

3. Сравнить значения параметров шероховатости обработанной поверхности деталей, определенных теоретически и экспериментально. Вычислить ошибку прогнозирования параметров шероховатости:

$$\delta = 100\left|R_{арасч.} - R_{аэксп.}\right| / R_{арасч.} \cdot$$

3.2 Изучение влияния условий обработки на параметры шероховатости

1. На основании представленных теоретических зависимостей произвести компьютерное моделирование процесса формирования высоты неровностей профиля шероховатости при отделочно-упрочняющей обработке поверхностно-пластическим деформированием.

По теоретической модели установить влияние на параметр шероховатости R_a основных параметров механообработки при накатывании: исходных параметров шероховатости $R_{z\ исх}$, $R_{p\ исх}$, $t_{m\ исх}$; рабочего усилия *P*; подачи *S*; радиуса шарика или поперечного радиуса ролика

R; профильного радиуса ролика *r*; твердости обрабатываемого материала HB_{max}, HB_{min}. Построить графики указанных зависимостей

2. Изучить устройство и принцип действия накатника (рис. 1).

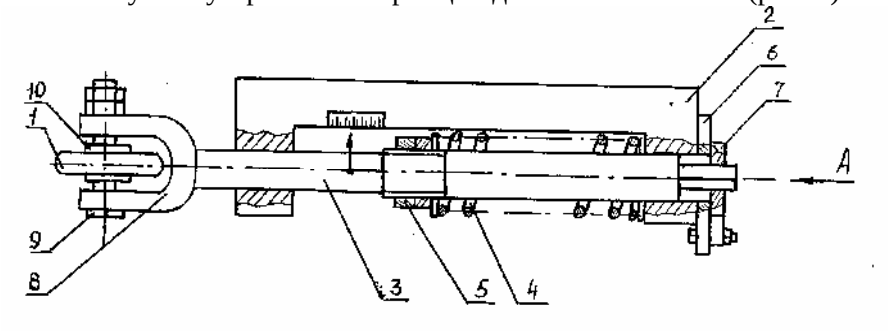

Рисунок 1 – Эскиз накатного ролика

Ролик 1 насажен на бронзовые втулки 10, которые вращаясь на пальце 9 играют роль подшипников скольжения. Палец крепится в вилке 8, которая соединяется резьбой со штоком 3. При помощи тарированной пружины 4 создается давление ролика на деталь. Гайка 5 фиксирует пружину. Поворот штока с роликом производится при помощи поводка 7. Угол поворота фиксируется болтом и гайкой, перемещающимися в пазе копира 6. Все приспособление крепится в резцедержателе токарно-винторезного станка при помощи струбцины 2.

3. Провести полный факторный эксперимент по установлению зависимости параметра шероховатости R_a при накатывании роликом от условий обработки: подачи *S*, усилия накатывания *P*, угла α.

Представить исследуемую зависимость в виде:

$$R_a(S, V, \varphi) = CS^m P^n \alpha.^p,$$

где *C*, *m*, *n*, *p* –коэффициент и показатели степени влияния параметров обработки на шероховатость.

Экспериментальные исследования и анализ полученных результатов выполняются в соответствии с методикой планирования и обработки результатов эксперимента, представленной в приложении *А*.

4 Содержание отчета (см. лабораторную работу № 1)

Лабораторная работа № 4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Цель работы: Изучение влияния параметров состояния поверхностного слоя на износостойкость деталей; исследование влияния условий обработки на параметры шероховатости обработанной поверхности при тонком точении и шлифовании, сравнение этих методов обработки.

1 Теоретические сведения

Для расчета интенсивности изнашивания в период нормального износа используется следующее уравнение [1]:

$$I = \frac{1{,}2\pi p^{7/6}}{n\lambda t_m^{3/2}\left(H_\mu\right)^{2/3}} \cdot \sqrt{\frac{30\left(1-\mu^2\right)\left(2\pi R_a W_z H_{\max}\right)^{1/3}}{ES_m}};$$

где p- давление на площадке контакта; n - число циклов нагружения; λ - коэффициент, учитывающий остаточные напряжения; t_m - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; R_a - среднее арифметическое отклонение профиля; S_m - средний шаг неровностей; W_z - параметр волнистости; H_μ - поверхностная микротвердость, H_{max} – максимальное макроотклонение; μ, E - коэффициент Пуассона и модуль упругости материала.

Интенсивность изнашивания при постоянных условиях работы и физико-механических свойствах материала в зависимости от параметров поверхностного слоя может быть представлена:

$$I = K\left(R_a W_z\right)^{1/6} \Big/ \lambda t_m^{3/2} S_m^{1/2}\left(H_\mu\right)^{2/3},$$

где K – постоянный коэффициент.

Для тонкого точения параметр шероховатости поверхности R_a в зависимости от условий обработки равен:

$$R_a = 0{,}16 S^{0{,}59}(90+\gamma)^{0{,}66} \Big/ r^{0{,}29} V^{0{,}19},$$

где S - подача, γ - передний угол; r - радиус при вершине, V - скорость резания.

Для круглого чистового шлифования:

$$R_a = 0{,}003 S_{np}^{0{,}45} z^{0{,}85} (P/10)^{0{,}25},$$

где $S_{пр}$ - продольная подача, z - зернистость круга, P - сила резания при шлифовании.

2 Приборы и оборудование

Круглошлифовальный станок модели 3А161; токарно-винторезный станок модели 16К20; прибор для измерения шероховатости - профилометр № 283; детали типа тел вращения, материал - сталь 40Х ГОСТ 1050-88; резцы, из эльбора; шлифовальные круги.

3. Содержание и порядок выполнения работы

3.1 Прогнозирование параметров шероховатости поверхности детали

1. Измерить параметры шероховатости обработанной поверхности детали, полученной при различных условиях обработки тонким точением. Результаты измерений занести в табл. 1

Таблица 1- Протокол измерения шероховатости поверхности при тонком точении

№ п/п	Режимы резания			Параметры шероховатости мкм					Результаты расчетов		
	Скорость V, м/мин	Подача S мм/об	Глубина t, мм	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Расчетное R_{ap}	Эксперим $R_{aэ}$	Ошибка δ,%
1											
.											

2. Измерить параметры шероховатости обработанной поверхности детали, полученной при различных условиях обработки шлифованием. Результаты измерений занести в табл. 2

Таблица 2- Протокол измерения шероховатости поверхности при шлифовании

№ п/п	Режимы резания			Параметры шероховатости мкм					Результаты расчетов		
	Скорость V, м/мин	Подача S мм/об	Глубина t, мм	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Расчетное R_{ap}	Экспериментальное $R_{аэ}$	Ошибка, δ,%
1											
.											

3. По эмпирическим формулам для исследованных условий обработки рассчитать теоретические значения параметров шероховатости обработанной поверхности при тонком точении и шлифовании. Сравнить результаты экспериментальных исследований с теоретическими расчетами. Вычислить ошибку прогнозирования параметров шероховатости:

$$\delta = 100\left|R_{арасч.} - R_{аэксп.}\right| / R_{арасч.} \cdot$$

3.2 Изучение влияния условий обработки на параметры шероховатости поверхностей и интенсивность изнашивания деталей

1. На основании представленных теоретических зависимостей произвести компьютерное моделирование процесса изнашивания. Установить влияние на интенсивность изнашивания параметров состояния поверхностного слоя: - среднего арифметического отклонения профиля - R_a; среднего шага неровностей - S_m; параметра волнистости W_z; поверхностной микротвердости - H_μ. Установить зависимость интенсивности изнашивания от условий механообработки при тонком точении и шлифовании. Построить графики указанных зависимостей.

2. Исходя из расчетных зависимостей, определить условия обработки поверхности детали при тонком точении и шлифовании, обеспечивающие достижение шероховатости Ra не ниже 0,63мкм. Рассчитать основное время при обработке тонким точением и шлифованием. Сравнить производительность этих методов обработки.

4 Содержание отчета

1. Цель работы
2. Протокол условий обработки и результатов измерений шероховатости обработанной поверхности при тонком точении
3. Протокол условий обработки и результатов измерений шероховатости обработанной поверхности при и шлифовании
4. Графики зависимостей интенсивности изнашивания от параметров состояния поверхностного слоя
5. Графики зависимостей интенсивности изнашивания от параметров обработки для тонкого точения и шлифования
6. Результаты сравнения производительности при тонком точении и шлифовании
7. Выводы

Лабораторная работа № 5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ МАШИН ПРИ СБОРКЕ

Цель работы: Изучение различных методов обеспечения точности замыкающего звена при сборке; сравнение различных методов по трудоемкости изготовления деталей и обеспечению точности сборки

1 Теоретические сведения

Точность замыкающего звена при сборке может быть достигнута методами полной, неполной или групповой взаимозаменяемости, пригонки, регулирования с применением компенсаторов.

Условие обеспечения сборки по методу полной взаимозаменяемости:

$$T_{A_O} = \sum_{i=1}^{m} / \xi_{A_i} / T_{A_i},$$

где - T_{A_O}, T_{A_i}, ξ_{A_i} - допуски замыкающего и составляющих звеньев и передаточное отношение i-го звена размерной цепи, равное: 1 для увеличивающих и -1 для уменьшающих составляющих звеньев.

Условие обеспечения сборки по методу неполной взаимозаменяемости:

$$T_{A_O} = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \xi_{A_i}^2 \lambda^2 T_{A_i}^2}$$

где $\lambda_i{}^2$ - коэффициент относительного рассеяния *i*-го звена размерной цепи, принимаемый равным 1/3, если ничего неизвестно о характере закона распределения, 1/9, если закон распределения нормальный; – коэффициент риска, значение которого принимается в зависимости от процента риска *P* - процента выхода размера замыкающего звена за пределы его допуска.

При нормальном законе распределения размеров *i*-го звена размерной цепи и проценте риска *P*= 0,27% (*t*=3):

$$T_{A_O}^2 = \sum_{i=1}^{m} T_{A_i}^2$$

Метод групповой взаимозаменяемости используют в основном для размерных цепей с небольшим числом составляющих звеньев *(m≤3)*. Сущность этого метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена обеспечивается по методу полной взаимозаменяемости; при этом составляющие звенья выполняют с производственными (технологическими) допусками, а непосредственно на сборке изделия сортируют сопрягаемые детали на группы по их действительным размерам, при соединении деталей из одноименных групп обеспечивается заданный допуск замыкающем звена. Число групп *n*, на которое необходимо рассортировать готовые детали,

$$n = T_{A_O} \big/ T_{A_{O\,тр}},$$

где T_{A_O}, $T_{A_{Oтр}}$ - фактический и требуемый допуски.

При расчете допусков и предельных отклонений на размеры составляющих звеньев исходят из уравнений

$$\sum_{1}^{m_{ув}} / \xi_{A_i} / T_{A_i ув} + \sum_{1}^{m_{ум}} / \xi_{A_i} / T_{A_i ум} = T_{A_O} / 2,$$

где $T_{A_i ув}$, $T_{A_i ув}$, $m_{ув}$, $m_{ум}$—допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев и, соответственно, их числа.

При использовании методов пригонки или регулирования в конструкцию изделия вводится специальная деталь — компенсатор, размеры которого могут изменяться при сборке путем удаления определенного слоя металла пригонкой или регулироваться при сборке.

2 Приборы и оборудование

Партии деталей-цилиндров высотой 20 мм, 30 мм, 50 мм; индикатор часового типа для измерения деталей.

3 Содержание и порядок выполнения работы

1. Изучить сборочный узел и имитационную модель этого узла из деталей – цилиндров, представленные на рис. 1.1 и рис. 1.2.

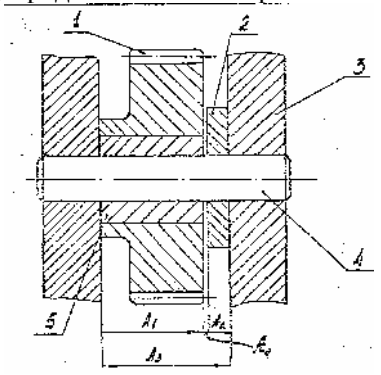

Рисунок 1 - Сборочный узел: 1- зубчатое колесо, 2 кольцо, 3 – корпус, 4 – ось, 5 втулка

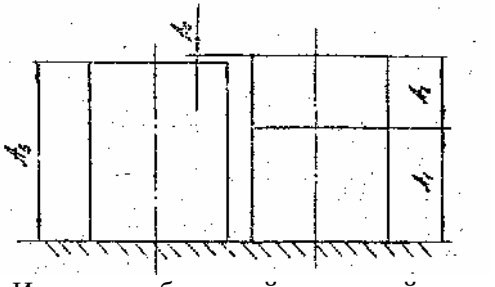

Рисунок 2 – Имитация сборочной размерной цепи из деталей-цилиндров

2. Произвести измерения отклонений *N* деталей, результаты занести в табл.1. Рассчитать полученные зазоры в соединениях $T_{A_{Oi}}$.

Таблица 1- Протокол измерений отклонений размеров деталей

Номер детали	Отклонения от номинального размера, мм			Зазор $T_{A_{Oi}}$, мм
	A_1 =20	A_2 =30	A_3 =50	
1				
…				
N				

3. Установить фактическую точность изготовления деталей. Среднее значение отклонения для каждого типоразмера деталей и среднеквадратическая ошибка:

$$\delta_{icp} = \sum_{j=1}^{N} \delta_{ij} \Big/ N \quad , S_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} (\delta_{icp} - \delta_{ij})^2 \Big/ (N-1)} ,$$

По фактически полученные допускам для каждого типоразмера деталей, равным $T_{A_i} = 3S_i$, установить квалитет точности.

4. На основании фактических допусков рассчитать допуск замыкающего звена при сборке методом полной взаимозаменяемости T_{A_O} .

5. Произвести анализ возможности обеспечения точности замыкающего звена методом групповой взаимозаменяемости при условии обеспечения зазора в соединении $T_{A_{Omp}}$ =0,35 мм.

Рассчитать число групп *n*, на которое необходимо рассортировать детали, произвести сортировку деталей. Рассчитать полученный зазор, сравнить его с допустимым. Результаты представить в табл. 2.

Таблица 1- Результаты сортировки деталей на группы

Номер группы	Номер детали	Отклонения от номинального размера, мм			Зазор $T_{A_{Oi}}$, мм
		A_1 =20	A_2 =30	A_3 =50	
1	1				
…	…				
n	*N*				

6. Произвести анализ возможности обеспечения точности замыкающего звена методом полной и неполной взаимозаменяемости при условии обеспечения зазора в соединении $T_{A_{Omp}}$ =0,35 мм.

Назначить допуски на размеры составляющих звеньев из условия обеспечения требуемой точности замыкающего звена:

для метода полной взаимозаменяемости: A_1 =20h10 ($_{-0,084}$), A_2 =30h10 ($_{-0,084}$), A_3 =50H11($^{+0,160}$);

для метода неполной взаимозаменяемости: A_1 =20h11 ($_{-0,13}$), A_2 =30h11 ($_{-0,13}$), A_3 =50H12($^{+0,25}$).

По назначенным допускам на размеры составляющих звеньев выполнить проверочный расчет допуска замыкающего звена при сборке методом полной и неполной взаимозаменяемости. Сравнить результаты расчета с величиной заданного зазора.

7. Сравнить результаты анализа точности сборочного узла при сборке методами полной, неполной и групповой взаимозаменяемости.

4 Содержание отчета

1. Цель работы
2. Эскиз сборочного узла и схема размерной цепи
3. Протокол измерений отклонений размеров деталей
4. Результаты сортировки деталей на группы
5. Результаты расчетов по обеспечению точности замыкающего звена методом полной и неполной взаимозаменяемости
6. Сравнение точности сборочного узла при сборке методами полной, неполной и групповой взаимозаменяемости.
7. Выводы

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т.1/ А.Г.Суслов, Э.Д.Браун, Н.А.Виткевич и др. - М.: Машиностроение, 1995.-256с.

2. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т.2/ А.Г.Суслов, Ю.В.Гуляев, А.М. Дальский и др. - М.: Машиностроение, 1995.-430с.

3. Статистические методы в инженерных исследованиях. Лабораторный практикум. Под ред. Г.К.Круга. – М.: Высшая школа, 1983. – 216 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ *А*

1 ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью экспериментальных исследований является установление зависимости математического ожидания параметров шероховатости от условий обработки, называемых далее факторами.

Задача планирования эксперимента заключается в определении функции отклика факторов, которая в общем случае аналитически выражается в виде математической модели:

$$M(Ra) = \varphi(X_i). \quad (1)$$

.В данных исследованиях проводится полный трехфакторный эксперимент с варьированием факторов на двух уровнях, позволяющий описать процесс линейной моделью, включающей также и взаимодействие факторов. Таким образом, в исследованиях используется экспериментальный план типа 2^3, где N = 3 – число факторов, 2 – число уровней их варьирования.

Зависимость параметров шероховатости от условий обработки обычно выражается степенной моделью:

$$Ra = C(X_i)^{q_i} \quad (2)$$

Линеаризация путем логарифмирования указанной зависимости (2) позволяет перейти к линейной модели:

$$\ln Ra = \ln C + q_i \sum_{i=1}^{N} X_i \quad (3)$$

Для трехфакторного эксперимента выборочное уравнение регрессии имеет вид:

$$M(Y) = b_0 + \sum_{i=1}^{3} b_i x_i + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j + b_{1.2.3} x_1 x_2 x_3 \ ; \quad (4)$$

где $b_0, b_i, b_j, b_{1.2.3}$ – выборочные коэффициенты регрессии, которые можно получить, пользуясь результатами эксперимента;

x_1, x_2, x_3 – независимые переменные (факторы), которыми можно варьировать при постановке эксперимента.

Для перевода натуральных переменных в кодовые x_i заполняется таблица кодирования факторов на двух уровнях (см. табл. 1).

Связь между кодовым и натуральным выражением факторов задается формулой:

$$x_i = (X_i - x_{i.0}) / \delta_i \quad (5)$$

где X_i – натуральное значение фактора; $x_{i.0}$ – значение i-го фактора на нулевом уровне, δ_i – интервал варьирования.

Таблица 1 – Кодирование факторов.

Интервал и уровни факторов	Обозначение	Факторы		
		X_1	X_2	X_3
Интервал	δ_i	δ_1	δ_2	δ_3
Нулевой уровень	0	X_{10}	X_{20}	X_{30}
Нижний уровень	-1	X_{1min}	X_{2min}	X_{3min}
Верхний уровень	+1	X_{1max}	X_{2max}	X_{3max}

Составление план-матрицы осуществляется следующим образом: для x_1 – уровни чередуются в каждом опыте, для x_2 – через два опыта, для x_3 – через четыре опыта (см. табл. 2).

Таблица 2 – Матрица планирования 2^3

Опыт	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	+	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	0	0	0	0	0	0	0
10	+	0	0	0	0	0	0	0

Деталь – валик разбивается радиальными канавками на 10 участков, каждый из которых обрабатывается согласно плану эксперимента. На каждом участке необходимо взять выборку из n измерений. Для оценки количества измерений n задаемся гарантированной вероятностью $P_Г$=0,9. и точностью $\Delta Ra = 2S_y$. Так как $\Delta Ra = tS_y$, где t – коэффициент Стьюдента, то t=2.По [3] для $P_Г$=0,9 и t=2 определяем n=6.

Результаты измерений представляются в табл. 3

Таблица 3 – Протокол результатов измерений

Точка плана	Параметры шероховатости R_a, мкм, и их логарифмы $h_i = ln\ R_a$						y_j	S_j
	R_{a1} h_1	R_{a2} h_2	R_{a3} h_3	R_{a4} h_4	R_{a5} h_5	R_{a6} h_6		
1								
…								

Среднее арифметическое значение функции отклика в каждой точке плана и среднеквадратическое отклонение:

$$y_j = \sum_{i=1}^{n} h_i \Big/ n \ , \quad S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (y_j - h_i)^2 \Big/ (n-1)} \qquad (6)$$

2 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.1 Проверка гипотезы воспроизводимости процесса

Дисперсии выборки $S_1^2, S_2^2, \ldots, S_j^2, \ldots, S_m^2$ несколько отличаются друг от друга. Поэтому необходимо проверить гипотезу о том, что это различие дисперсий носит случайный характер. Оценка при равном объеме выборки производится по критерию Кохрена:

$$G = S_{j\max}^2 \Big/ \sum_{j=1}^{m} S_j^2 \le G(0{,}05; f_i; f_m), \qquad (7)$$

где 0,05 – уровень значимости (5%); $f_m = m = 10$ – число независимых оценок дисперсии; $f_i = n\text{-}1 = 6\text{-}1 = 5$ – число степеней свободы каждой оценки; значение критерия Кохрена $G(0{,}05; 5; 10) = 0{,}3029$.

Процесс считается воспроизводимым, если выполняется неравенство (7). Дисперсия воспроизвоодимости и ее степени свободы:

$$S_{воспр} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} S_j^2 \Big/ m}\ , \ f_{воспр} = m \cdot (n\text{-}1), \ f_{воспр.} = 10\ (6\text{-}1) = 50 \qquad (8)$$

2.2 Вычисление коэффициентов регрессии.

В случае воспроизводимости процесса коэффициенты регрессии рассчитываются по следующим зависимостям:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^{m} x_0 y_j}{m}; \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} x_{ij} y_j}{m}; \quad b_{il} = \frac{\sum_{j=1}^{m} x_{ij} x_{il} y_j}{m} \qquad (9)$$

2.3 Оценка значимости коэффициентов регрессии.

Оценка значимости каждого коэффициента проводится с помощью критерия Стьюдента $t_{кр}$. Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше половины длины доверительного интервала:

$$|b_i| \ge \Delta b \qquad (10)$$

$$\Delta b = t_{кр} S_{воспр} \Big/ \sqrt{m}, \qquad (11)$$

где $t_{кр}(0{,}05; f_m)$– критическое значение критерия Стьюдента при 5% - ном уровне значимости и числе степеней свободы $f_m = m = 10$: $t_{кр}(0{,}05;10) = 2{,}2281$

2.4 Проверка адекватности модели.

Для проверки гипотезы об адекватности представления результатов эксперимента найденному уравнению регрессии, достаточно оценить отклонение, предсказанное уравнением регрессии $M(Y)$ от результатов эксперимента y_j в различных точках факторного пространства.

Рассеяние результатов эксперимента относительно уравнения регрессии характеризуется с помощью остаточной дисперсии адекватности, которая при равном объеме выборок равна:

$$S_{ад}^2 = \sum_{j=1}^{m} [y_j - M(Y)]^2 \Big/ (m - z), \qquad (12)$$

где z=8 – число коэффициентов регрессии, вычисленное по результатам опытов независимо друг от друга.

Дисперсия адекватности определяется числом степеней свободы: $f_{ад} = m\text{-}z$, $f_{ад} = 10\text{-}8 = 2$.

Проверка гипотезы об адекватности модели производится с использованием критерия Фишера F. Модель адекватна, если выполняется условие:

$$F = S_{ад}^2 \Big/ S_{воспр}^2 \le F(0{,}05; f_{ад}; f_{воспр}), \qquad (13)$$

где $F(0{,}05;2;50) = 3{,}2$ – критерий Фишера при 5% - ном уровне значимости.

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по курсу
“Методы повышения качества машин”
(для студентов специальности 7.090202
“Технология машиностроения”)

Составители Ивченко Татьяна Георгиевна
Польченко Виктор Васильевич