МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з вибіркової навчальної дисципліни
циклу дисциплин професійної і практичної підготовки

«МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МАШИН»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ (ЗАОЧНОЇ;ПРИСКОРЕНОЇ) ФОРМ НАВЧАННЯ

Галузь знань: 0505 «Машинобудування та матеріалообробка»
Напрям підготовки: 6.050503 «Інженерна механіка»

Розглянуто
на засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
Протокол № 6 від 16.12. 2010р.

Затверджено на засіданні
Навчально-видавничої
Ради ДонНТУ
Протокол №___ від «__» 2011р.

Донецк ДНТУ 2010

УДК 621.75.008.001.2 (071)

Конспект лекций по курсу «Методы повышения качества машин» (для студентов специальности 7.090202 “Технология машиностроения”) / Т.Г. Ивченко. - Донецк: ДНТУ, 2010. - 34с.

Представлен краткий конспект лекций по курсу «Методы повышения качества машин». Указаны цель и задачи изучения курса, дано краткое содержание основных тем с иллюстрациями и основными теоретическими зависимостями.

Составитель Т.Г. Ивченко, доц.

Отв. за выпуск А.Н. Михайлов, проф.

ЛЕКЦИЯ 1

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

ПЛАН:

1 ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА

Основные показатели качества машин - надежность и производительность в значительной мере определяются их прочностью и износостойкостью. Эти эксплуатационные свойства зависят от состояния поверхностного слоя деталей, определяемого технологией их изготовления. В современном производстве назначение и технологическое обеспечение состояния поверхностного слоя деталей машин недостаточно обосновано, что приводит либо к завышению требований и удорожанию машин, либо к их занижению и снижению надежности.

На основании анализа технологических возможностей различных методов обработки с учетом всего комплекса параметров поверхностного слоя - шероховатости, волнистости, физико-механических свойств могут быть наиболее точно определены эксплуатационные свойства деталей при установленной технологии их изготовления.

В результате комплексного подхода к выбору, назначению и технологическому обеспечению системы параметров поверхностного слоя с учетом эксплуатационных свойств деталей, может успешно решаться задача повышения качества отдельных узлов и изделий в целом и обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции для мирового рынка.

Цель дисциплины состоит в изучении путей повышения качества машин технологическими методами.

Предмет - новые прогрессивные технологические процессы, которые могут обеспечить выпуск конкурентоспособной продукции для мирового рынка на базе современных достижений науки и техники, и отвечать основным критериям ресурсосбережения (материалов, энергетических затрат, трудоемкости производства).

Задачи дисциплины заключаются в следующем:

изучить методы обеспечения качества изделий на стадиях их проектирования, производства и эксплуатации; методы повышения качества машин при изготовлении заготовок отдельных деталей, их механической обработке, а также при сборке;

уметь обосновывать основные эксплуатационные свойства деталей машин и технологические методы их обеспечения; определять основные условия обработки, которые обеспечивают нужные свойства качества машин.

2 ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1 Свойства, составляющие качество

Качество продукции - совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением

Показатель качества - это количественная характеристика одного или нескольких ее свойств, рассматриваемая применительно к определенным условиям создания и эксплуатации данной машины

Для оценки качества машин применяют единичные и комплексные показатели. Наибольшее применение в машиностроении получили единичные показатели, которые подразделяют на эксплуатационные и производственно-технические. К группе эксплуатационных свойств относятся показатели назначения, надежности, эргономики и эстетики.

Показатели назначения характеризуют степень соответствия машины ее целевому назначению — мощность, производительность, коэффициент полезного действия и т.д.

Одним из важнейших обобщающих свойств машин является надежность.

Надежность—свойство объекта сохранять в течение определенного времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции при заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. К параметрам, характеризующим способность выполнять требуемые функции, относят кинематические и динамические параметры, параметры прочности, точности функционирования, производительности, скорости и т. п.

Являясь комплексным свойством, надежность в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность —свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность—свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в его способности поддерживать и восстанавливать работоспособное состояние путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость—свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Эргономические показатели характеризуют машину в системе человек—машина и учитывают ее приспособляемость к антропометрическим, биомеханическим, физиологическим и инженерно-психологическим свойствам человека, проявляющимся в производственных процессах.

Экономические показатели используют в зависимости от требований, которые предъявляются к новой машине. Наиболее часто применяют производственную мощность и производительность, которые могут существенно меняться в процессе внедрения машины. Эти показатели применяются дополнительно к сумме капиталовложений эксплуатационников и себестоимости единицы продукции или работы.

К показателям *технологичности* относятся трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость, показатели стандартизации и унификации.

Трудоемкость определяет количество труда, затрачиваемого на изготовление единицы продукции (или выполнение единицы работы).

Материалоемкость характеризует затрату материалов на изделие, причем ее находят двумя способами: по общей массе машины (за вычетом массы комплектующих изделии) и по массе материалов, израсходованных на производство, эксплуатацию и ремонт машины, включая все виды отходов и потерь.

Энергоемкость характеризует затраты энергии на единицу продукции, выраженные в киловатт-часах, килограммах пара или в других единицах.

Показатели стандартизации и унификации позволяют определить степень конструктивного единообразия проектируемой или изготовляемой машины, прибора или другого изделия; они свидетельствуют об усилиях или достижениях конструктора в применении минимально необходимого количества типоразмеров составных частей изделия (деталей, комплексов, комплектов и т.д.) в целях повышения эффективности производства.

2.2 Методы определения единичных показателей качества

Метод определения единичных показателей качества машины зависит от ее конструктивных и технологических особенностей. В машиностроении применяют описанные ниже методы определения показателей.

Измерительный метод осуществляется на основе технических средств измерений. Базируется на информации, получаемой с использованием средств измерений и контроля. С помощью измерительного метода определяют значения таких показателей качества, как масса изделия, сила тока, скорость автомобиля, частота вращения двигателя и др.

Регистрационный метод осуществляется на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат, например, подсчета отказов изделия при испытаниях, числа дефектных изделий в партии.

Расчетный метод осуществляется на основе использования теоретических и (или) эмпирических зависимостей показателей качества машины от ее параметров. Применяется в основном при проектировании продукции. Позволяет также установить зависимости между отдельными показателями качества. Служит для определения массы изделия, показателей его производительности, например, определение производительности металлорежущего станка по скорости и глубине резания, а также подаче и др.

Органолептический метод осуществляется на основе анализа восприятии органов чувств, например, при контроле окраски машины, при проверке отсутствия рисок и царапин или других дефектов на обработанной поверхности детали. При его реализации возможно использование технических средств (лупа, микроскоп и т.п.), повышающих восприимчивость и разрешающие способности органов чувств.

Экспертный метод осуществляется на основе решения, принимаемого экспертами, например, при оценке эстетической характеристики машины или прибора.

Социологический метод осуществляется на основе сбора и анализа мнений фактических или возможных потребителей продукции, например, при оценке качества выпущенной серии электродвигателей, телевизоров и т.д.

2.3 Дифференциальный и комплексный методы оценки качества

Комплексные показатели характеризуют качество машины по совокупности ее нескольких простых свойств или одному сложному свойству, состоящему из нескольких простых. Комплексные показатели часто определяют методом среднего взвешенного (арифметического, геометрического и т.д.).

Примером комплексного показателя, определенного методом среднего взвешенного (арифметического), может служить показатель

$$q_k = \sum_{i=1}^{n} q_i c_i$$

где q_i — показатель i-го свойства оцениваемой продукции; c_i — коэффициент весомости показателя q_i.

В случае большого разброса значений q_i рекомендуется другая формула (средне-взвешенное геометрическое):

$$q_k = \prod_{i=1}^{n} q_i^{c_i}$$

Определяющим называют показатель, по которому оценивают качество продукции. В том случае, когда определяющий показатель является комплексным, он называется обобщенным. Если хотя бы один единичный показатель неудовлетворительный, то обобщенный показатель следует принимать равным нулю, т.е. качество оценивается как неудовлетворительное.

Интегральным $P_{ин}$ называется комплексный показатель, характеризующий эффективность машины. Его рассчитывают следующим образом: либо как отношение суммарного полезного эффекта (в натуральном выражении) от эксплуатации машины к затратам на ее создание и работу за весь срок службы:

$$P_{ин} = W/(K_o + S)$$

где W — количество единиц продукции или выполненной машиной работы за весь срок ее эксплуатации, например, число произведенных заготовок, деталей, тонн или килограммов продукции и т.д.; Ko — начальные капиталовложения в машину, включающие ее оптовую цену, доставку, монтаж и наладку; S — эксплуатационные расходы на весь срок службы машины, включая расходы на ее ремонт и обслуживание.

ЛЕКЦИЯ 2

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

ПЛАН:

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ
2 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Анализ результатов исследований по формированию неровностей профиля шероховатости при различных методах обработки позволяет выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности. Высота неровностей профиля шероховатости определяется:

$$R_Z=h_1+h_2+h_3+h_4 \quad ,$$

где h_1,h_2,h_3,h_4 - составляющие профиля шероховатости, обусловленные, соответственно, геометрическими параметрами инструмента, колебаниями инструмента, деформациями обрабатываемого материала, шероховатостью.

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

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

$$R_z = \frac{r(1-\cos\varphi)}{\cos\gamma} + \frac{tg\varphi\cdot tg\varphi_1\left(s - r(\sin\varphi+\sin\varphi_1)\right) - r\cdot tg\varphi(\cos\varphi_1 - \cos\varphi)}{\cos\gamma\cdot(tg\varphi_1 + tg\varphi)} + \\ + b_{сдв}/(1/tg\varphi + 1/tg\varphi_1) + R_{ин}.$$

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:

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

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 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Взаимосвязь параметров состояния поверхностного слоя обрабатываемых деталей с параметрами механической обработки при чистовом точении и растачивании может быть представлена следующими зависимостями:

$$Y_i = k_o V^{k_1} S^{k_2} t^{k_3} r^{k_4} (50+\gamma)^{k_5} \alpha^{k_6} j_{cm}^{k_7},$$

где V - скорость резания, м/мин; S - подача, мм/об; t - глубина резания, мм; r - радиус при вершине резца, мм; γ - передний угол резца; α - задний угол резца; j_{cm} - статическая жесткость станка, Н/мм.

Коэффициенты k_i определяются по табл2.1 и 22.

Таблица 2.1 – Значения коэффициентов для чистового точения

Параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
R_a,мкм	83,6	-0,45	0,36	-0,10	0,12	0,01	-0,10	-0,22
S_m,мм	1,79	0,18	0,58	-0,25	0,15	0,21	0	-0,31
W_z,мкм	1,55	-0,50	0,24	-0,25	0,21	0,07	0,26	0,33
H_μ,МПа	1636	0,08	0,01	0,09	0,08	-0,06	0,07	0,11

Таблица 2.2 – Значения коэффициентов для чистового растачивания

Параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
R_a,мкм	76,2	0,03	0,57	-0,08	-0,20	-0,35	-0,34	0,04
S_m,мм	0,01	0,03	0,46	0	0,12	0,01	-0,19	0
W_z,мкм	29	-0,56	0,37	0	0,1	0,62	0,12	-0,05
H_μ,МПа	961,6	0,01	0,02	0,03	-0,01	-0,11	0	-0,09

Представленные зависимости позволяют прогнозировать параметры состояния поверхностного слоя: R_a - среднее арифметическое отклонение профиля; S_m - средний шаг неровностей; W_z - параметр волнистости; H_μ - поверхностная микротвердость для заданных условий обработки.

Зависимости параметров состояния поверхностного слоя обрабатываемых деталей от скорости резания и подачи при чистовом точении представлены на рис. 2.1.

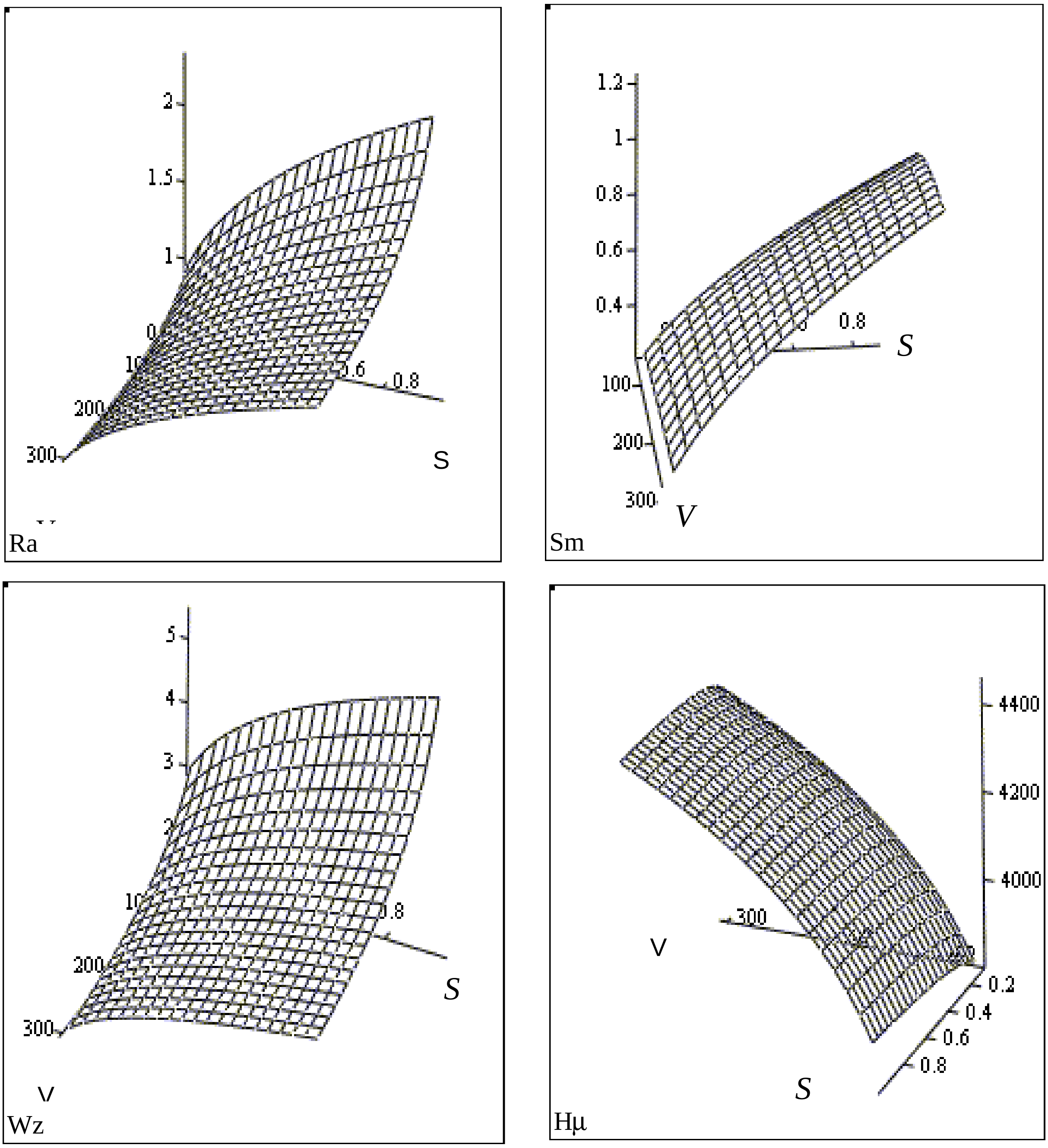


Рисунок 2.1 – Влияние скорости резания V(м/мин) и подачи S (мм/об) на параметры состояния поверхностного слоя: R_a - среднее арифметическое отклонение профиля (мкм); S_m - средний шаг неровностей (мкм); W_z - параметр волнистости (мм); H_μ - поверхностная микротвердость (Мпа); для следующих параметров: t = 0,3мм, r =0,5мм; γ = -3°, α = 3°, j_{cm} =2500 Н/мм.

ЛЕКЦИЯ 3

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

ПЛАН:

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ
2 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

При обработке алмазными и абразивными зернами кинематика их перемещения относительно обрабатываемой поверхности способствует формированию как поперечной, так и продольной шероховатости, которая одновременно является составляющей поперечного профиля.

Общее уравнение для определения высоты профиля шероховатости при шлифовании:

$$z = 10^3 \xi^{\left(N \frac{B}{S_{np}} - 1\right)} \left\{ t - \frac{P_y}{j_T} - \frac{P_y \left[E_2\left(1-\mu_1^2\right) + E_1\left(1-\mu_2^2\right)\right]}{4\pi E_1 E_2 S_{np}} \right.$$
$$\left. \times \ln \frac{4\pi E_1 E_2 (D/2 + d/2) S_{np}}{P_y \left[E_1\left(1-\mu_2^2\right) + E_2\left(1-\mu_1^2\right)\right]} + \frac{l^2\left(1 \pm V_D / 60 V_{кр}\right)^2}{4D} \right\} + ,$$
$$+ \frac{\left(1 - 2\tau_0/\sigma_T\right)\left[2S + 0{,}5r\left(1 - 2\tau_0/\sigma_T\right)\right]}{32}$$

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 округления режущих зерен.

2 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Взаимосвязь параметров состояния поверхностного слоя обрабатываемых деталей с параметрами механической обработки для наружного и внутреннего шлифования может быть представлена следующими зависимостями:

$$Y_i = k_o V_з^{k_1} S_{пр}^{k_2} S_{рад}^{k_3} N^{k_4} H^{k_5} z^{k_6} j_{ст}^{k_7},$$

где $V_з$ — скорость детали, м/мин; $S_{пр}$ — продольная подача, в долях от ширины круга *В*, (для расчетов можно принимать *В*=63мм, $S_{пр}$;=(0,3-0,8)*В*; $S_{рад}$ — радиальная подача, мм/двойной ход; *N* — число выхаживаний; *H* — твердость круга, принимается для кругов твердостью *СТ2: Н*=5, для кругов твердостью *СМ: Н*=1; *z* — зернистость круга; $j_{ст}$ — статическая жесткость станка, кН/мм.

Коэффициенты k_i определяются по табл.3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов для наружного шлифования

Параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
R_a,мкм	0,47	-0,06	0,36	-0,01	-0,02	0,29	0,08	0,34
S_m,мм	0,02	-0,22	0,34	-0,15	0,04	0,24	0,06	0,13
W_z,мкм	4,3	0,01	0,23	0,08	-0,06	0,40	0,18	0,10
H_μ,МПа	2253	0,03	-0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	-0,01

Таблица 3.4 – Значения коэффициентов для внутреннего шлифования

Параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
R_a,мкм	9,25	-0,23	0,39	0,05	0.01	-0.04	0.06	-0,98
S_m,мм	0,002	0,27	-0,02	0,08	0.29	0,19	0,62	-0,33
W_z,мкм	3,3	-0,18	0,61	-0,10	-0.42	0.32	0.06	-0,39
H_μ,МПа	243,4	0,05	0,03	0,01	0.01	0.01	-0.02	-0.03

Представленные зависимости позволяют прогнозировать параметры состояния поверхностного слоя: R_a - среднее арифметическое отклонение профиля; S_m - средний шаг неровностей; W_z - параметр волнистости; H_μ - поверхностная микротвердость для заданных условий обработки.

Зависимости параметров состояния поверхностного слоя обрабатываемых деталей от скорости детали и продольной подачи при шлифовании наружных поверхностей представлены на рис. 2.2.

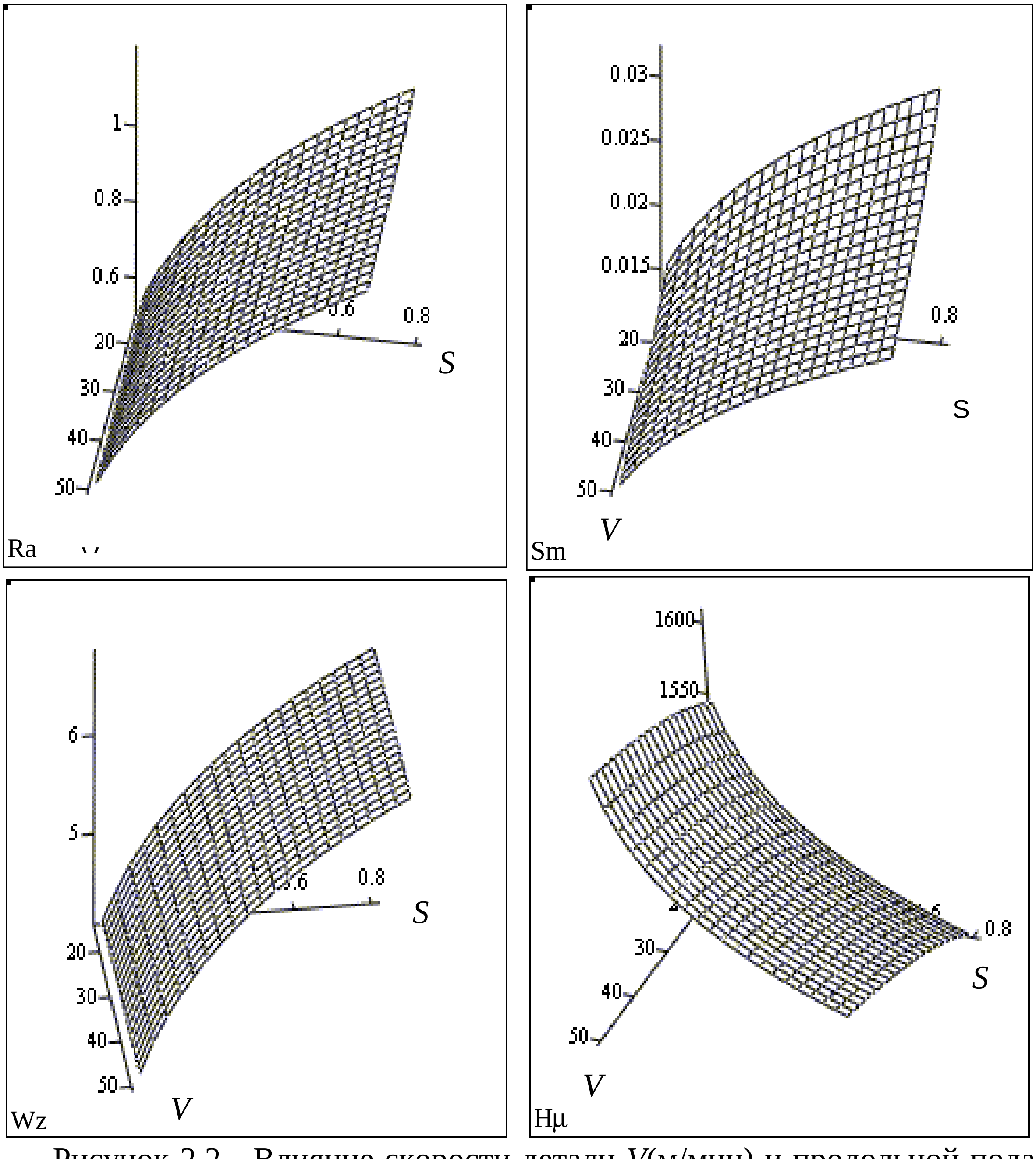


Рисунок 2.2 - Влияние скорости детали V(м/мин) и продольной подачи S (мм/об) на параметры состояния поверхностного слоя: R_a - среднее арифметическое отклонение профиля (мкм); S_m - средний шаг неровностей (мкм); W_z - параметр волнистости (мм); H_μ - поверхностная микротвердость (Мпа) для следующих параметров: t = 0,03мм, N =10, z = 6,H =2, $2j_{cm}$ =12 кН/мм.

ЛЕКЦИЯ 4

ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

ПЛАН:

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД
2 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ
3 ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ППД

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

$$R_z = R_{zuuc} + \left[PR^2_{ucx} / \pi R_{np} \left(HB_{\max} - HB_{\min} \right) \right]^{1/3} + S/2r + R_{zuu} -$$

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

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 ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ

На основании исследования закономерностей формирования поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке установлены взаимосвязи параметров состояния поверхностного слоя с условиями обработки.

При накатывании шариками наружных цилиндрических поверхностей параметр шероховатости R_a рассчитывается следующим образом:

$$R_a = R_{a\ исх}^{0,95}(\sigma_{\max})^{-0,24} d^{0,13} s^{0,14} v^{0,04},$$

где $R_{a\ исх}$ – исходная шероховатость, d – диаметр ролика, ,v, s – скорость и подача, σ_{max} – максимальные напряжения на контакте.

При алмазном выглаживании наружных цилиндрических поверхностей параметр шероховатости R_a определяется следующим образом:

$$R_a = 1{,}1 R_{a\ исх}^{0,77}(\sigma_{\max})^{-0,27} d_a^{-0,3} s^{0,14} v^{0,05},$$

где d_a – диаметр алмазного индентора

Указанные зависимости позволяют прогнозировать среднее арифметическое отклонение профиля R_a для заданных условий обработки (рис.2.3)

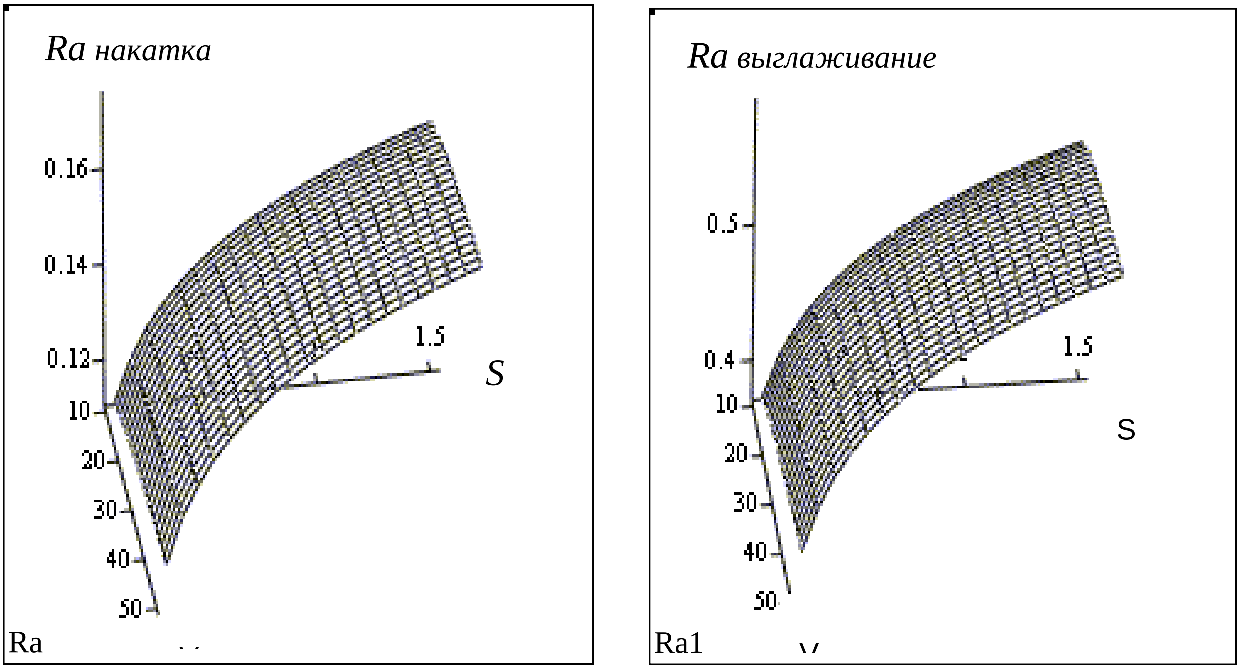


Рисунок 2.3 - Влияние скорости V(м/мин) и подачи S (мм/об) на среднее арифметическое отклонение профиля R_a (мкм) при накатывании и выглаживании

3 ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

3.1 Отделочно-упрочняющая обработка ППД

К этому классу относятся все методы обработки заготовок, связанные с пластическим деформированием только их поверхностных слоев и практически не изменяющие исходную точность размеров.

Накатывание, обкатывание и раскатывание осуществляют специальным инструментом, рабочими элементами которого являются шарик или ролик от подшипников или специально изготовленный. При давлении рабочего элемента на обрабатываемую поверхность детали происходит ее локальное пластическое деформирование в месте контакта. Наличие различных вращательных и поступательных движений позволяет обрабатывать различные поверхности (плоские, цилиндрические, фасонные). Обработку ведут на универсальных и специальных станках, станках с ЧПУ, полуавтоматах и автоматах.

Выглаживание производят инструментом, рабочим элементом которого является твердосплавный или алмазный индентор, скользящий по обрабатываемой поверхности. Этим методом можно обрабатывать все виды поверхностей от плоской до фасонной.

Виброобработка — это процесс накатывания, обкатывания, раскатывания шариком или алмазное выглаживание при наличии дополнительного осциллирующего движения рабочего элемента параллельно обрабатываемой поверхности. Варьирование амплитуды и частоты осцилляций рабочего элемента, наряду с изменением других режимов обработки, позволяет создавать на поверхности различные регулярные микрорельефы или системы канавок, необходимые для увеличения объема масла на поверхностях трения, склонных к схватыванию.

Динамическое упрочнение можно производить рабочими элементами в свободном состоянии или при их фиксированном положении. В качестве рабочих элементов при свободной обработке применяют дробь и шарики стальные или стеклянные, при фиксированном положении шарики и ролики подшипников или специальные.

Комбинированная обработка совмещает резание и ППД. Это совмещение осуществляется с помощью специального комбинированного инструмента, объединяющего режущие и деформирующие рабочие элемент. Благодаря такому совмещению она переходит в разряд размерных обработок, так как позволяет повысить исходную точность.

3.2 Формообразующая обработка пластическим деформированием

В этом классе предусмотрены методы обработки заготовок, формирующие форму и размеры отдельных их элементов пластическим деформированием

Накатывание зубьев модулем до 2 мм может осуществляться в холодном состоянии. Все основные схемы накатывания зубьев основаны на принципе обкатывания. Обработка может осуществляться одним или несколькими зубчатыми роликами при радиальной или осевой подачах. При этом может происходить накатывание с одновременным калиброванием.

Накатывание зубьев роликами, как правило, осуществляют на универсальных токарных, револьверных, горизонтально-фрезерных, резьбонакатных и других станках с использованием специальных приспособлений. Кроме того, накатывать можно и зубчатыми рейками. Для этого используют специальные гидравлические зубонакатные станки, работающие в автоматическом режиме.

Накатывание шлицев можно производить как методом обкатки (мелкие шлицы), так и методом копирования (средние и крупные шлицы) с продольным перемещением роликов относительно оси обрабатываемой заготовк.

Такое продольное накатывание шлицев может осуществляться путем накатывания двух (или трех) противоположных впадин шлица или одновременного действия всех накатных роликов, образующих впадины всех шлицев (шлицы средних размеров). Накатывание может производиться за один или несколько рабочих ходов. Методом обкатки шлицы формообразуют плоскими и круглыми зубчатыми рейками, круглыми профильными роликами, червяками и т.д.

Шлицы накатывают на универсальных станках, прессах и специальных шлиценакатных станках.

Накатывание и раскатывание резьб осуществляют методом пластического выдавливания материала заготовки, имеющей определенный диаметр, с помощью специального резьбового инструмента. Наружные резьбы накатывают резьбовыми рейками или роликами. Накатывание рейками производят на специальных резьбонакатных станках, работающих в автоматическом режиме. Резьбу роликами (одним или несколькими) накатывают как на универсальных токарных станках, так и на специальных резьбонакатных станках. Внутренние резьбы раскатывают, как правило, бесстружечными метчиками-раскатниками на обычных универсальных станках (токарных, токарно-револьверных, сверлильных, станках с ЧПУ, болторезных и резьбонарезных автоматах).

Крупные резьбы в отверстиях деталей из малопластичных материалов можно обрабатывать комбинированными метчиками-раскатниками.

3.3 Отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием

К этому классу относятся методы, осуществляющие отделочно-упрочняющую обработку поверхности без изменения ее формы при пластическом деформировании практически всей заготовки

Калибрование применяют для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения заготовок; оно позволяет повысить исходную точность за счет объемных пластических деформаций материала. При небольших натягах пластические деформации могут носить локальный характер, т.е. распространяться только в поверхностном слое. Рабочим инструментом является шарик, деформирующая прошивка или пуансон, калибрующие фильтры или вогнутые эллипсообразные ролики. Процесс осуществляется на оборудовании для обработки давлением.

Дорнование применяют для обработки различных отверстий, в том числе и шлицевых. Процесс дорнования заключается в том, что инструмент (дорн) определенной формы протягивается через обрабатываемое отверстие, имеющее меньшие размеры по сравнению с размерами дорна. При этом вследствие пластического деформирования диаметр отверстия увеличивается, поверхностный слой металла в отверстии упрочняется, а неровности поверхности сглаживаются. Причем, в зависимости от натяга пластические деформации могут носить локальный поверхностный характер или распространяться на весь объем заготовки, изменяя ее диаметральные и линейные размеры. Дорны могут быть комбинированными с режущими и деформирующими рабочими элементами. Для уменьшения трения при дорновании применяют различные смазочные материалы и СОЖ. Процесс осуществляется на протяжных станках.

ЛЕКЦИЯ 5

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ МЕХАНООБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ПРОЧНОСТИ

ПЛАН:

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

Под сопротивлением усталости деталей машин понимают их способность сопротивляться разрушению при действии знакопеременных нагрузок. Многочисленными исследованиями установлено, что очаги разрушения деталей машин от усталости металла зарождаются на их поверхности. Исходя из этого, усталостная прочность деталей машин в значительной степени определяется состоянием их поверхностных слоев.

Предел выносливости деталей машин в основном зависит от наклепа и остаточных напряжений поверхностного слоя. Влияние неровностей поверхности детали учитываются с помощью теоретического коэффициента концентрации напряжений α_δ, определяемый:

при кручении и сдвиге

$$\alpha_\sigma = 1 + \sqrt{\frac{\gamma}{\rho} t},$$

при растягивании и изгибе

$$\alpha_\sigma = 1 + 2\sqrt{\frac{\gamma}{\rho} t},$$

где γ - коэффициент, принимаемый после механических методов обработки 1, ρ - радиус впадин, t - высота неровностей поверхности.

Радиус наибольшей впадины шероховатости, определяющий предел выносливости, рассчитывается по уравнению:

$$\rho_{\min} = \frac{t_m^2 S_m^2}{8 \cdot 10^4 R_m},$$

где t_m - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии, %, S_m - средний шаг неровностей, R_m - глубина сглаживания (расстояние от средней линии до линии впадин)

С учетом этого выражения коэффициент концентрации напряжений может быть представлен в виде:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{200}{t_m S_m}[2\gamma R_{\max}(R_{\max} - R_p)]^{0.5}$$
,

где R_{max} - максимальная высота профиля, R_p - высота сглаживания (расстояние от средней линии до линии выступов).

Экспериментальные исследования сопротивления усталости, проведенные на образцах из стали 30ХГСА (HRC 35-37), показали, что предел выносливости образцов при уменьшении их шероховатости с R_a =0,74мкм до R_a =0,22мкм в среднем увеличивается на 14%, а срок службы более чем в 3 раза.

Преобразовав полученное уравнение относительно стандартизованных параметров шероховатости и действующих и остаточных напряжений, получим:

$$\frac{20}{(100 - t_m)S_m}\left(\frac{60 R_{\max} R_a}{100 - t_m}\right)^{0.5} = \frac{[\sigma] - \sigma_0}{\sigma} - 1$$
,

где [σ] -предел выносливости материала на растяжение, σ_0 - технологические остаточные поверхностные напряжения, σ - действующие напряжения, t_m - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии, %, S_m - средний шаг неровностей, R_{max} - максимальная высота профиля, R_a - среднее арифметическое отклонение профиля.

Полученное уравнение может быть использовано для анализа различных методов обработки и назначения в результате этого анализа окончательного метода обработки поверхности.

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

Проанализированы различные варианты окончательной обработки поверхностей деталей типа ″тела вращения″: чистовое точение, шлифование, накатывание.

При чистовом точении t_m=45%, R_a=R_{max}/6, σ_0=150 Мпа. Подставляя эти данные в расчетное уравнение, получаем: R_{max}/S_m =25. Этому соотношению соответствуют: S_m=0,16мм, R_{max}=4,0мкм.

При шлифовании t_m=50%, R_a=R_{max}/7, σ_0=50Мпа. Расчетом получаем: R_{max}/S_m=32, что соответствует S_m=0,047мм,. R_{max}=1,5мкм.

При накатывании t_m=60%, R_a=R_{max}/5, σ_0=-400Мпа. Расчетом получаем R_{max}/S_m=40, что соответствует S_m = 0,25мм,. R_{max} = 10,0мкм.

Для построения графика использована следующая зависимость:

$$\frac{R_{\max}}{S_m} = \frac{(100 - t_{\max})^{1.5}}{20 \cdot (60/n)^{0.5}} \cdot \left(\frac{[\sigma] - \sigma_0}{\sigma} - 1\right).$$

Закономерности изменения соотношения R_{max}/S_m в зависимости от величины остаточных напряжений представлены на рис. 5.1.

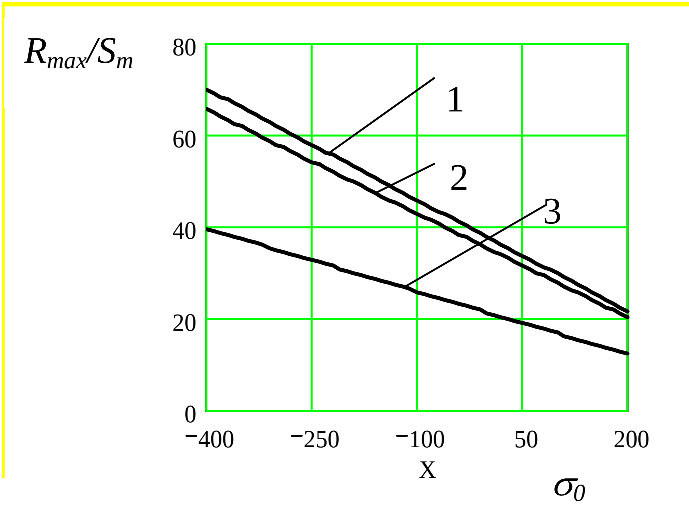


Рисунок 5.1 - Зависимость соотношения R_{max}/S_m от величины остаточных напряжений σ_0 при различных видах обработки:
1) чистовое точение, 2) шлифование, 3) накатывание

Анализ полученных значений шероховатости показывает, что увеличение ее высоты R_{max}, оказывающей отрицательное влияние на предел выносливости, компенсируется увеличением шага S_m и сжимающих остаточных напряжений σ_0, оказывающих положительное влияние на усталостную прочность.

На основании предложенной методики с учетом всего комплекса параметров поверхностного слоя деталей количественно оценивается изменение прочности в зависимости от методов обработки, что позволяет обоснованно выбирать наиболее рациональный из них. При заданном уровне прочности могут быть достаточно точно установлены требования к параметрам состояния поверхностного слоя.

ЛЕКЦИЯ 6

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ МЕХАНООБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

ПЛАН:

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

Износостойкость является важнейшей эксплуатационной характеристикой деталей машин. Износостойкость характеризуется способностью поверхностных слоев детали сопротивляться разрушению при трении скольжения и качения. Износ служит причиной выхода из строя большинства машин (до 80%) и их деталей. Износ деталей приводит к потере точности , понижению КПД , понижению прочности , увеличению зазоров в сопряжениях и как следствие — увеличению динамических нагрузок.

Согласно теории Крагельского, интенсивность изнашивания деталей рассчитывается по формуле:

$$I_h = \frac{\chi}{n\lambda}\sqrt{\frac{h}{\rho}}\,\frac{A_r}{A};$$

где n - число циклов воздействия , которое приводит к разрушению;

λ - коэффициент , учитывающий изменение данного числа циклов в связи с поверхностными остаточными напряжениями σ_T;

h - глубина взаимного внедрения микронеровностей контактирующих деталей;

ρ - средний радиус выступов;

A - геометрическая площадь контакта;

A_r - фактическая площадь контакта для условий сухого трения;

χ - коэффициент , определяемый по формуле:

$$\chi = \frac{1}{2(\nu+1)}\sqrt{\frac{\nu}{2\alpha}};$$

где α - коэффициент , учитывающий отличие площади сечения выступов от величины фактической площади контакта на уровне ρ : α=1;

ν - параметр опорной кривой , равный:

$$\nu = \frac{t_m R_p}{50 R_a} - 1;$$

где t_m , R_p , R_a -параметры шероховатости , соответственно: относительная опорная длина профиля на уровне средней линии , высота сглаживания или расстояние от средней линии до линии выступов , среднее арифметическое отклонение профиля.

Коэффициент λ рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \left(\frac{\sigma_в - \sigma_\tau}{\sigma_\alpha} \right)^{t_y};$$

где $\sigma_в$ - временное сопротивление разрыву;

σ_α - действующая величина амплитудного напряжения в рабочем слое;

t_y - параметр фрикционной усталости при упругом контакте;

σ_τ - поверхностные остаточные напряжения.

Согласно известной теории контактного взаимодействия :

$$\frac{A_r}{A} = \frac{p}{Ack_1\sigma_T};$$

где p - нормальная статическая нагрузка на контакт;

$c\sigma_T$ - давление на фактической площадке контакта;

k_1 - упругая постоянная соприкасающихся тел.

Подставляя полученные выражения в исходную формулу получаем уравнение для расчета интенсивности изнашивания в период нормального износа:

$$I = \frac{1.2\pi\nu^{0.5} p^{r/6}}{n\lambda(\nu+1) t_m^{3/2} (H_\mu)^{2/3}} \cdot \sqrt{\frac{30(1-\mu^2)(2\pi R_a W_z H_{max})^{1/3}}{ES_m}};$$

где S_m - средний шаг неровностей; W_z - параметр волнистости;

μ , E - коэффициент Пуассона и модуль упругости материала;

Полученные зависимости показывают, что износостойкость деталей машин характеризуется комплексным состоянием поверхностей трения.

Преобразовав уравнение интенсивности изнашивания, получаем новое выражение для комплексного параметра, относительно параметров состояния поверхностного слоя:

$$\frac{(R_a W_z H_{\max})^{1/6}}{t_m^{2/3} s_m^{1/2} k^{2/3} \lambda} = I \left(\frac{25\pi^{7/6}}{\chi p^{7/6}} \right) \frac{\sigma_T^{2/3} E^{1/2} n}{(1-\mu^2)^{1/2}}$$

Подставляя в правую часть этого выражения заданные параметры, вычисляем значение комплексного параметра.

Возможности различных методов обработки наружных поверхностей в обеспечении комплексного параметра поверхностного слоя следующие:

точение чистовое	2,1 - 0,68
точение тонкое	1,0 - 0,45
шлифование чистовое	2,2 - 0,75
шлифование тонкое	1,2 - 0,50
суперфиниш	1,0 - 0,30
накатывание	0,8 - 0,07

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Сравнение различных методов обработки плоских и цилиндрических поверхностей ведется по критерию относительного изменения износостойкости с учетом всего комплекса параметров поверхностного слоя и условий механообработки.

Относительный показатель изменения износостойкости устанавливается на основании известного уравнения интенсивности изнашивания, в зависимости от изменения относительных показателей параметров поверхностного слоя, определенных в сравнении с показателями, принятыми за базу, следующим образом :

$$I_o = \left(R_{oa} W_{oz} H_{o\,max}\right)^{1/6} \Big/ \lambda_o t_{om}^{3/2} S_{om}^{1/2} \left(H_{o\mu}\right)^{2/3} ,$$

где R_{oa} - среднее арифметическое отклонение профиля; W_{oz} - параметр волнистости; H_{omax} – максимальное макроотклонение; λ_o - коэффициент, учитывающий остаточные поверхностные напряжения; t_{om} - относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; S_{om} - средний шаг неровностей; $H_{o\mu}$ - поверхностная микротвердость - относительные показатели, определенные по сравнению с базовыми

Относительные показатели рассчитываются на основании сопоставления достижимых параметров поверхностного слоя сравниваемых методов обработки, достаточно широко представленных в справочно-нормативной литературе. В настоящей работе осуществляется анализ методов лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработок наружных и внутренних поверхностей вращения, а также плоских поверхностей, относительные показатели параметров поверхностного слоя которых и соответствующие им относительные показатели изменения интенсивности изнашивания I_o представлены в табл. 1, 2 и 3.

Таблица 1 - Относительные параметры поверхностного слоя и относительные показатели изменения интенсивности изнашивания I_o при различных методах обработки наружных поверхностей вращения

Метод обработки	Относительные параметры состояния поверхностного слоя							Показатель I_o
	R_{oa}	W_{oz}	H_{omax}	$H_{o\mu}$	t_{om}	S_{om}	λ_o	
Точение	1	1	1	1	1	1	1	1
Шлифование	0,25-0,5	0,3-1,0	0,25-0,4	0,5-0,75	1,1	0,4-0,7	0,9	1,07-1,25
Обкатывание	0,07-0,4	0,25-1,5	0,15–0,4	1,0-1,8	1,3	0,4-1,4	1,1	0,21-0,36

В табл.2 даны относительные параметры состояния поверхностного слоя при точении, шлифовании и обкатывании наружных поверхностей вращения при условии, что за базу для сравнения принято качество поверхностного слоя, достигаемое при точении.

Таблица 2 - Относительные параметры поверхностного слоя деталей и относительные показатели изменения интенсивности изнашивания I_o при различных методах обработки внутренних поверхностей вращения

Метод обработки	Относительные параметры состояния поверхностного слоя							Показатель I_o
	R_{oa}	W_{oz}	H_{omax}	$H_{o\mu}$	t_{om}	S_{om}	λ_o	
Растачивание	1	1	1	1	1	1	1	1
Шлифование	0,40-0,80	0,50-1,0	0,4-0,5	0,75-1,0	1,1	0,4-0,5	0,9	1,2-1,8
Раскатывание	0,06-0,16	0,5-0,8	0.25-0,5	1,5-2,0	1,3	0,4-2,4	1,1	0,2-0,3

В табл.2 даны относительные параметры состояния поверхностного слоя при растачивании, шлифовании и раскатывании внутренних поверхностей вращения при условии, что за базу для сравнения принято качество поверхностного слоя, достигаемое при растачивании.

Таблица 3 - Относительные параметры поверхностного слоя деталей и относительные показатели изменения интенсивности изнашивания I_o при различных методах обработки плоских поверхностей

Метод обработки	Относительные параметры состояния поверхностного слоя							Показатель I_o
	R_{oa}	W_{oz}	H_{omax}	$H_{o\mu}$	t_{om}	S_{om}	λ_o	
Фрезерование	1	1	1	1	1	1	1	1
Шлифование	0,32-0,40	0,5-1,0	0,3-0,32	0,2-0,25	1,1	0,3-0,6	0,9	2,2-3,1
Накатывание	0,1-0,21	0,6-0,8	0,3-0,45	1,0-1,5	1,3	0,3-1,2	1,1	0,28-0,57

В табл.3 даны относительные параметры состояния поверхностного слоя при фрезеровании, шлифовании и накатывании плоских поверхностей при условии, что за базу для сравнения принято качество поверхностного слоя, достигаемое при торцевом фрезеровании.

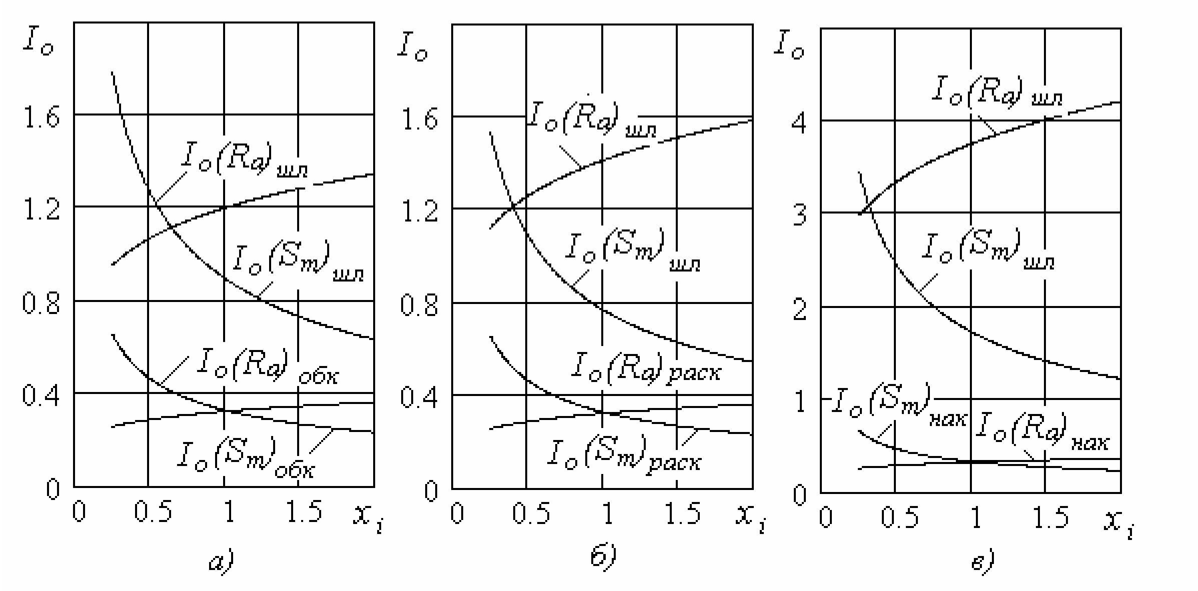


Рисунок 1 - Влияние относительных параметров поверхностного слоя при алмазно-абразивной - и отделочно-упрочняющей обработке наружных поверхностей вращения - а), внутренних поверхностей вращения - б), плоских поверхностей - в)

На рис. 1 представлены графики зависимости относительных показателей интенсивности изнашивания I_o от основных относительных показателей параметров состояния поверхностного слоя - среднего арифметического отклонения профиля R_{oa} и среднего шага неровностей S_{om} при алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработках цилиндрических и плоских поверхностей.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном повышении интенсивности изнашивания, то есть снижении износостойкости, при использовании шлифования в качестве окончательного метода обработки, как цилиндрических, так и плоских поверхностей, в сравнении с чистовой лезвийной обработкой.

Использование же методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием – обкатывания, раскатывания и накатывания позволяет повысить износостойкость плоских и цилиндрических поверхностей в сравнении с чистовой лезвийной обработкой в 2-5 раз.

Таким образом, предложенная методика позволяет количественно оценивать изменение интенсивности изнашивания деталей машин в зависимости от комплекса параметров поверхностного слоя при различных методах лезвийной, алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработок цилиндрических и плоских поверхностей. На ее основании количественно обоснован выбор методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием, обеспечивающий гарантированное повышение износостойкости деталей машин.

ЛЕКЦИЯ 7

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ МЕХАНООБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

ПЛАН:

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С ГЕРМЕТИЧНОСТЬЮ

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

1 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С ГЕРМЕТИЧНОСТЬЮ

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик деталей машин, наряду с износостойкостью, является герметичность их соединений. Совершенствование техники и интенсификация рабочих процессов в машинах приводит к усложнению условий работы - возрастанию статических и динамических нагрузок, действию тепловых и гидравлических ударов, вибраций. В связи с этим возрастают и требования к герметичности соединений, используемых в конструкциях машин, что определяет актуальность задач по исследованию герметичности и поиску путей ее повышения.

Герметичность соединений деталей машин в значительной мере зависит от состояния их поверхностного слоя, формируемого на окончательных операциях механической обработки. Поэтому важной задачей является исследование взаимосвязей герметичности соединений с параметрами состояния поверхностного слоя деталей машин, формируемыми при комбинированном методе обработки точением и поверхностно-пластическим деформированием.

Герметичность соединений определяет их способность удерживать утечку газа или жидкости [7]. Из закона Дарси для фильтрационного потока утечка, характеризующая герметичность, может быть определена по формуле:

$$Q_{\sum} = \pi D \Delta p H k'' / \mu' l ,$$

где μ' - динамический коэффициент вязкости уплотняемой среды, l и D - размеры соединения, Δp- перепад давления, H - толщина пористого слоя под нагрузкой, k'' - коэффициент проницаемости.

Толщина пористого слоя под нагрузкой с учетом шероховатости, волнистости и макроотклонения сопрягаемых поверхностей равна:

$$H = H_1 - y_{ск} = (H_{max1} + H_{max2}) + (W_{z1} + W_{z2}) + (R_{z1} + R_{z2}) - y_{ск} ,$$

где H_1 - высота пористого слоя в контакте без нагрузки; $y_{ск}$- контактное сближение деталей при скольжении; R_z - средняя высота неровностей профиля; W_z - параметр волнистости; H_{max} - максимальное макроотклонение.

Коэффициент проницаемости k'' определяется следующим образом:

$$k'' = Um^3 / \Sigma^2 ,$$

где U - константа Кармана (0,20-0,22), Σ - удельная смачиваемость сопрягаемых поверхностей, m - пористость, равная отношению приведенного объема к общему пористому объему в соединении:

$$m = (h - y_{ск})A / (H_1 - y_{ск})A = (h - y_{ск})/H,$$

где A – геометрическая площадь контакта, h - первоначальный зазор в стыке:

$$h = (H_{p1} + H_{p2}) + (W_{p1} + W_{p2}) + (R_{p1} + R_{p2}),$$

где R_p, W_p, H_p- высоты сглаживания профиля шероховатости, волнистости и макроотклонения соответственно.

Удельная смачиваемость контактирующих поверхностей:

$$\Sigma = S_n / V_м,$$

где S_n- внутренняя поверхность пор, т.е. фактическая площадь соприкосновения контактирующих поверхностей с жидкостью: $S_n = 10{,}88A$; $V_м$ - объем металла в пористом слое: $V_м = AH(1\text{-}m)$.

Принимая коэффициент заполнения объема равным 0,5, получим:

$$V_м = 0{,}5A\left[(H_{max1} + H_{max2}) + (W_{z1} + W_{z2}) + 6(Ra_1 + Ra_2) - y_{ск}\right],$$

где R_a - среднее арифметическое отклонение профиля.

Подставляя последнее выражение (2.43) в формулу удельной смачиваемости (2.42), а затем полученное значение и коэффициент проницаемости (2.39) в формулу (2.37) для фильтрационного потока, получим:

$$Q_\Sigma = 0{,}0066\frac{D \cdot \pi \cdot \Delta p U\left\{0{,}5\left[(H_{\max 1} + H_{\max 2}) + (W_{z1} + W_{z2}) + 6(R_{a_1} + R_{a_2})\right] - y_{ск}\right\}}{\mu' l},$$

Анализ полученной формулы показывает, что герметичность соединений наряду с геометрией уплотнения, физико-механическими свойствами его материала и факторами внешнего воздействия также зависит от состояния контактирующих поверхностей: параметров шероховатости R_a, волнистости W_z и макроотклонения H_{max}. Это свидетельствует о том, что одним из резервов повышения герметичности соединений деталей является применение методов отделочно-упрочняющей обработки, обеспечивающих необходимый уровень комплекса указанных параметров состояния поверхностного слоя.

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Возможности метода лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки наружных и внутренних поверхностей вращения в обеспечении указанных параметров состояния поверхностного слоя представлены в табл. 1. Для сравнения приведены возможности алмазно-абразивной обработки. Анализ указанных в таблице значений параметров обработки поверхностей вращения свидетельствует о том, что методы поверхностно-пластического деформирования обладают достаточно хорошими возможностями в обеспечении наименьших значений параметров шероховатости R_a, волнистости W_z и макроотклонения H_{max}.

Таблица 1 - Возможности методов обработки поверхностей вращения в обеспечении качества обработанной поверхности

Метод обработки	Параметры состояния поверхностного слоя					
	Обработка наружных поверхностей вращения			Обработка внутренних поверхностей вращения		
	R_a, мкм	W_z, мкм	H_{max}, мкм	R_a, мкм	W_z, мкм	H_{max}, мкм
Точение	0.8-2.5	1.6-4.0	40-100	0.8-2.0	2.5-6.25	20-80
Шлифование	0.2-1.25	0.5-4.0	10-40	0.32-1.60	1.25-6.25	10-40
Обкатывание	0.05-1.0	0.4-2.5	6-40	0.05-1.0	1.6-5.0	5-40

Графики зависимости герметичности соединения, характеризуемой утечкой Q_Σ, от шероховатости R_a при различных методах обработки (растачивание, шлифование, раскатывание) внутренних поверхностей вращения представлены на рис.1. Для сравнения приведены зависимости для шлифования, подтверждающие преимущества метода обработки совместным точением и поверхностным пластическим деформированием в сравнении с шлифованием.

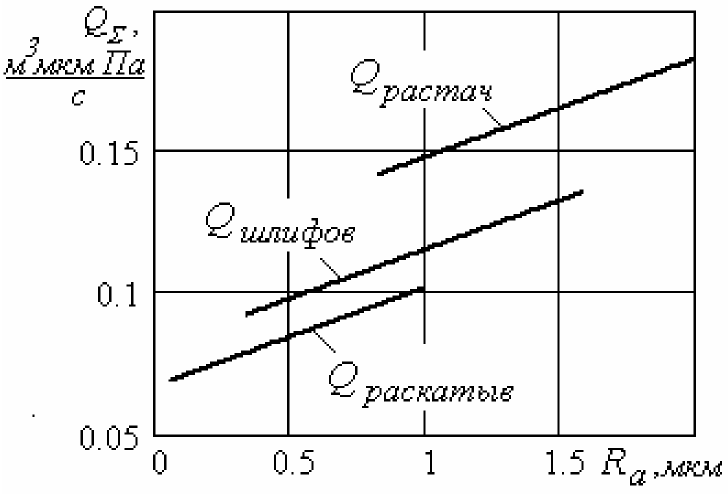


Рисунок 1 - Графики зависимости утечки Q_Σ от шероховатости поверхности R_a при различных методах обработки внутренних поверхностей

Анализируя представленные графики, устанавливаем, что наилучшая герметичность соединений (наименьшая утечка) наблюдается после обработки внутренней поверхности вращения раскатыванием, обеспечивающей наименьшие значения параметров состояния поверхностного слоя.

Расчеты были выполнены с помощью математического пакета Mathcad Professional для следующих условий: D = 100мм, l = 25мм, $y_{ск}$ = 3мкм; U = 0,21; μ'= 3; Δp = 10Мпа.

Количественная оценка повышения герметичности соединений, то есть снижения утечки, при различных методах обработки может быть осуществлена на основании следующего коэффициента:

$$K_{герм} = Q_{\Sigma 1}/Q_{\Sigma 2} \,,$$

где $Q_{\Sigma 1}$ и $Q_{\Sigma 2}$ - значения утечки для двух сравниваемых методов обработки.

Графики зависимости коэффициента снижения утечки $K_{герм}$ от шероховатости R_a при различных методах обработки - шлифовании и раскатывании в сравнении с растачиванием представлены на рис. 2.

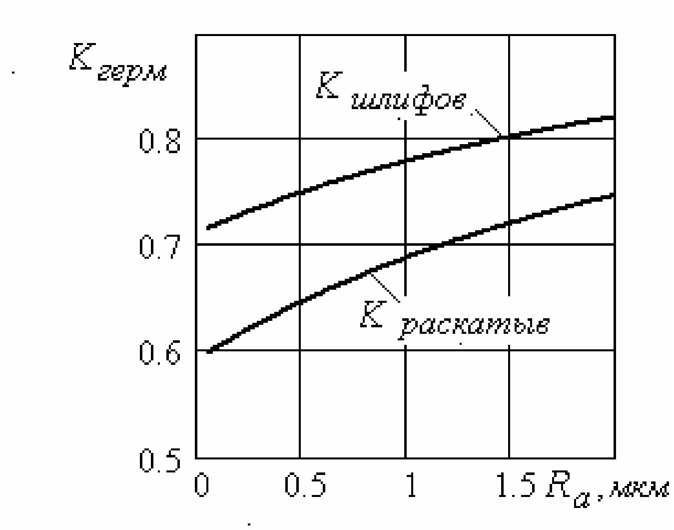


Рисунок 2. - Графики зависимости коэффициента снижения утечки $K_{герм}$ от шероховатости поверхности R_a

Графики свидетельствуют о возможности снижения утечки, то есть повышения герметичности на 20-40% за счет улучшения параметров состояния поверхностного слоя при выборе наиболее рационального метода обработки совместным точением и поверхностно-пластическим деформированием.

Таким образом, в результате проведенных исследований на основании разработанной методики анализа возможностей методов обработки точением и обкатыванием по обеспечению износостойкости, прочности и герметичности деталей типа «тела вращения» количественно обоснована возможность существенного повышения эксплуатационных свойств деталей машин за счет применения методов комбинированной лезвийной и отделочно-упрочняющей обработки.

ЛЕКЦИЯ 8

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ

ПЛАН:

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ
2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

Для исследования влияния режимов механической обработки на остаточные напряжения, возникающие в поверхностном слое обработанной детали, остаточные напряжения представляются как алгебраическая сумма температурных σ_T и механических σ_M остаточных напряжений:

$$\sigma_O = \sigma_T + \sigma_M$$

Температурные остаточные напряжения определяются с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя $\Theta(z)$:

$$\sigma_T(z) = \alpha E \Theta(z)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала детали; E – модуль упругости материала; z – текущая координата, определяющая глубину поверхностного слоя.

На основании анализа температурного поля в поверхностном слое заготовки, возникающего в результате взаимодействия с инструментом под воздействием быстродвижущегося полосового источника теплоты, для определения распределения температур по глубине поверхностного слоя получена следующая зависимость:

$$\Theta(z) = \frac{PV\beta l}{2S_K \lambda_\partial \sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{Pe}} \int_0^1 \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)$$

где P сила в зоне обработки; V скорость перемещения источника; β - доля теплоты, поступающая в деталь; l – размер полосового источника теплоты; $S_к$ – площадь контакта инструмента с заготовкой; λ, ω_∂ – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности детали; ν - безразмерная координата, характеризующая глубину поверхностного слоя $\nu = z/l$; ψ_u – безразмерная координата, характеризующая положение полосового источника теплоты $\psi_u = x_u/l$; $Pe = Vl/\omega_\partial$ - критерий Пекле; $f(\psi_u)$ - закон распределения плотности тепловыделения.

Механические остаточные напряжения определяются на основании формулы:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi}\left[\frac{3}{2(r^2+z^2)} + \frac{1.2}{r^2}\ln\left(\frac{z}{2r}\right) - \frac{3}{10r^2}\right]$$

где r – радиус кругового поля контакта.

В формуле (4) введем безразмерную координату $\nu = z/r$:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{S_K}\left[\frac{3}{2(1+\nu^2)} + 1.2\ln\left(\frac{\nu}{2}\right) - 0.3\right].$$

Тогда остаточные напряжения в поверхностном слое детали могут быть представлены в безразмерном виде следующим образом:

$$\sigma_{o\ б} = \frac{S_K}{P}\sigma_o = \frac{S_K}{P}(\sigma_{Tб} + \sigma_{Mб}).$$

Безразмерная температурная составляющая остаточных напряжений равна:

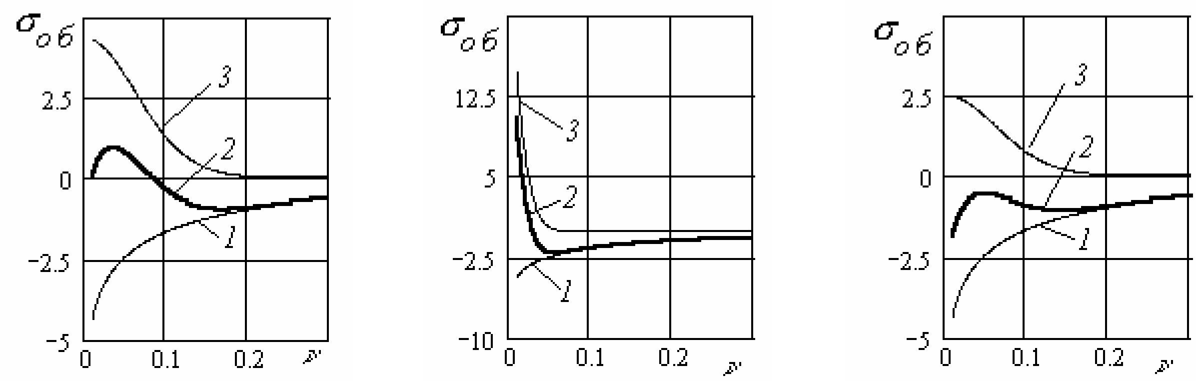
$$\sigma_{T\ б} = \frac{V\beta\ l}{2\lambda_\partial\sqrt{\pi}}\frac{1}{\sqrt{Pe}}\int_0^1 \frac{f(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}\exp\left(-\frac{Pe}{4}\cdot\frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)$$

Безразмерная механическая составляющая остаточных напряжений равна:

$$\sigma_{Mб.} = \left[\frac{3}{2(1+\nu^2)} + 1.2\ln\left(\frac{\nu}{2}\right) - 0.3\right]$$

2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

С использованием полученных зависимостей проведены исследования безразмерных остаточных напряжений в поверхностном слое детали при различных видах обработки – точении, шлифовании и обкатывании. В результате анализа безразмерных составляющих остаточных напряжений установлено, что безразмерная механическая составляющая не зависит от вида обработки. Безразмерная температурная составляющая зависит от скорости перемещения источника и закона распределения плотности тепловых потоков, которые для различных видов обработки различны, что и обуславливает различие в распределении безразмерных остаточных напряжений, представленных на рис.1.



а) б) в)

Рис.1. Распределение безразмерных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при точении – а), шлифовании – б), обкатывании – в).

На формирование безразмерных суммарных остаточных напряжений (кривая 2) оказывают влияние безразмерные температурные (кривая 3) и механические (кривая 1) остаточные напряжения. Скорости перемещения теплового источника, соответствующие скорости резания при точении и шлифовании и скорости детали при обкатывании, приняты следующими: $V_{точ}$ = 3м/с, $V_{шл}$ = 30м/с, $V_{обк}$ = 1м/с. При точении и обкатывании плотность распределения теплового потока имеет нормальный закон распределения с функцией $f(\psi_u) = \exp[-k_0(1-\psi_u)]$, при шлифовании – равномерный $f(\psi_u) = 1$. В результате указанных различий температурная составляющая остаточных напряжений при шлифовании более чем в 2 раза превышает температурную составляющую при точении, температурная же составляющая при обкатывании почти в 2 раза ниже, чем при точении.

Представленные графики свидетельствуют о том, что механические остаточные напряжения являются сжимающими, а температурные – растягивающими. При различных сочетаниях уровней температурных и механических составляющих суммарные остаточные напряжения могут быть растягивающими или сжимающими. При шлифовании преобладает температурная составляющая, поэтому суммарные остаточные напряжения в поверхностном слое преимущественно растягивающие. При обкатывании преобладает механическая составляющая, вследствие чего суммарные остаточные напряжения по всей глубине поверхностного слоя сжимающие. При точении в зависимости от скорости возможно возникновение в поверхностном слое как растягивающих, так и сжимающих напряжений.

Определяя для конкретных условий механообработки действующие силы и размеры площадки контакта, от безразмерного распределения остаточных напряжений легко перейти к их фактическому распределению. На рис. 2 представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при точении, шлифовании и обкатывании.

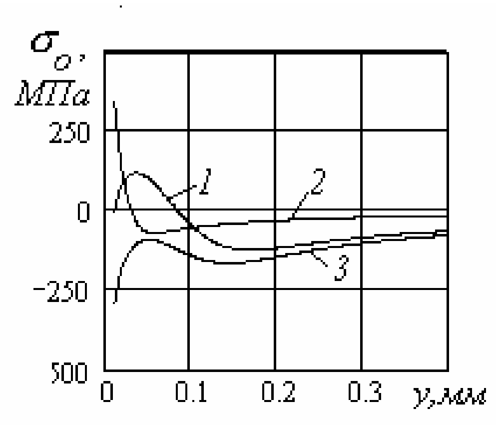


Рис.2. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при точении – 1), шлифовании- 2), обкатывании 3).

Расчеты остаточных напряжений выполнялись для следующих режимов обработки:

при точении - скорость резания $V_{точ}$ = 3м/с, подача s = 0,2 мм/об, глубина резания t = 1 мм; сила резания составляла P = 400 Н; при шлифовании $V_{шл}$ = 30м/с, подача s = 16 мм/об, глубина резания t = 0,01 мм; сила резания составляла P = 100 Н; при обкатывании скорость детали $V_{обк}$ = 1м/с, сила P = 500 Н.

Из графиков следует, что для указанных режимов обработки при обкатывании (кривая 3) имеют место сжимающие остаточные напряжения; при шлифовании (кривая 2) в поверхностном слое преобладают остаточные напряжения растяжения; при точении (кривая 1) остаточные напряжения растяжения на глубине 0,1 мм переходят в сжимающие.

Таким образом, на основании разработанной методики выполнен анализ остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали при различных видах обработки – лезвийной, алмазно-абразивной, отделочно-упрочняющей. Полученные результаты позволяют регламентировать рациональные режимы обработки в зависимости от заданного уровня остаточных напряжений.

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. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты”. - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1985.-496с.

3. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: Машиностроение,1987. -208с.

4. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение,2004. -400с.

5. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение,2002. - 684с.

6. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение,2000. - 320с.

7. Рыжов Э.В. , Суслов А.Г. , Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. - М.:Машиностроение, 1979.- 175с.

8. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С.Колесников, Г.Ф.Баландин. А.М.Дальский и др.; Под общ. ред. К.С.Колесникова. - М.: Машиностроение, 1990. -256с.

9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А.Панов, В.В.Аникин, Н.Г.Бойм и др.; Под общ. ред. А.А.Панова. - М.: Машиностроение,1988. - 736с.

10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. - М.: Машиностроение . 1985. - 496с.

11. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н.Абрамов, В.В.Коваленко, В.Е.Любимов и др. - К.: Техніка, 1983. - 239с.

12. Ящерицын П.И. , Рыжов Э.В. , Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. - Минск: Высш. школа, 1977.- 254с.