

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(национальный исследовательский университет)»

**Выбор параметров процесса и обеспечение
заданного качества обрабатываемой поверхности при
обкатывании ее роликовым инструментом**

Электронные методические указания
к лабораторной работе

САМАРА
2010

Составители: ПРОНИЧЕВ Юрий Николаевич
ШУЛЕПОВ Александр Павлович
КРАШЕНИННИКОВ Константин Петрович
СМИРНОВ Геннадий Владиславович

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», изучающих курсы: «Технология производства АД и ЭУ», «Технология машиностроения», «Технологические методы обеспечения надежности деталей ГТД», «Информационные технологии», и в рамках магистерской программы «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

Методические указания разработаны на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

**© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010**

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Сущность и технологические показатели процесса обработки роликом.....	4
2. Построение эмпирической модели процесса.....	9
3. Порядок выполнения работы.....	14
4. Отчет.....	15
5. Контрольные вопросы.....	15

1. Сущность и технологические показатели процесса обработки роликом

Процесс обкатки роликами относится к методу поверхностного пластического деформирования и осуществляется свободно вращающимися и прижимаемыми с определенным давлением к обрабатываемой поверхности стальными роликами. При этом на поверхности происходит смятие выступов и заполнение впадин, шероховатость снижается на два-три класса, а диаметр заготовки уменьшается на величину смятых выступов. Вследствие пластической деформации происходит наклеп поверхностного слоя, возникают остаточные напряжения сжатия и увеличивается микро твердость.

Обкатку роликами наиболее широко применяют для упрочнения крупных деталей (валов, осей, зубчатых колес и др.), отделки рабочей поверхности, а также формообразования деталей с одновременным их упрочнением. В результате обкатки значительно повышается усталостная прочность деталей, а в ряде случаев износостойкость. Так, обкатка роликами чугунных и стальных коленчатых валов повышает их усталостную прочность на 50...100%, обкатка впадин между зубьями зубчатых колес повышает предел их выносливости на 40...60%.

Для обкатывания используют ролики различной конфигурации, которые обычно устанавливаются под некоторым углом к оси обрабатываемой заготовки, при этом в зоне контакта остается отпечаток, форма которого зависит от конфигурации ролика, кривизны обрабатываемой поверхности и угла α (рис.1,с). Отпечаток эллиптической формы с осями $2a$ и $2b$ (рис.1,b) образуется при использовании ролика кругового профиля, установленной без наклона к оси обрабатываемой заготовки. Прямоугольный отпечаток (рис.1, а) получается при линейном исходном контакте ролика с заготовкой, условием

которого в общем случае служит равенство абсолютных значений кривизны профиля ролика и заготовки.

В простейшем случае прямоугольный отпечаток создает цилиндрический ролик, установленный параллельно оси цилиндрической обрабатываемой заготовки, при этом их кривизна в поперечном сечении не влияет на форму отпечатка. Прямоугольный отпечаток целесообразно использовать при обработке без продольной подачи. Наиболее распространена схема обработки с использованием отпечатка каплевидной формы, которая обычно создается при обкатывании цилиндрическим или коническим роликом, установленным под углом α к обрабатываемой поверхности (рис.1, с). Отпечаток ролика во время обкатывания превращается в пластически деформированную канавку, которая при обработке цилиндрических поверхностей с подачей представляет собой винтовую линию. Поскольку ширина этой канавки во много раз превышает подачу, то при втором и последующих оборотах заготовки ролик выходит на уже деформированную поверхность, несколько расширяя и углубляя канавку. После некоторого числа оборотов процесс стабилизируется. Процесс поверхностного деформирования зависит от силы обкатывания, размеров и профиля ролика и размеров обрабатываемой поверхности.

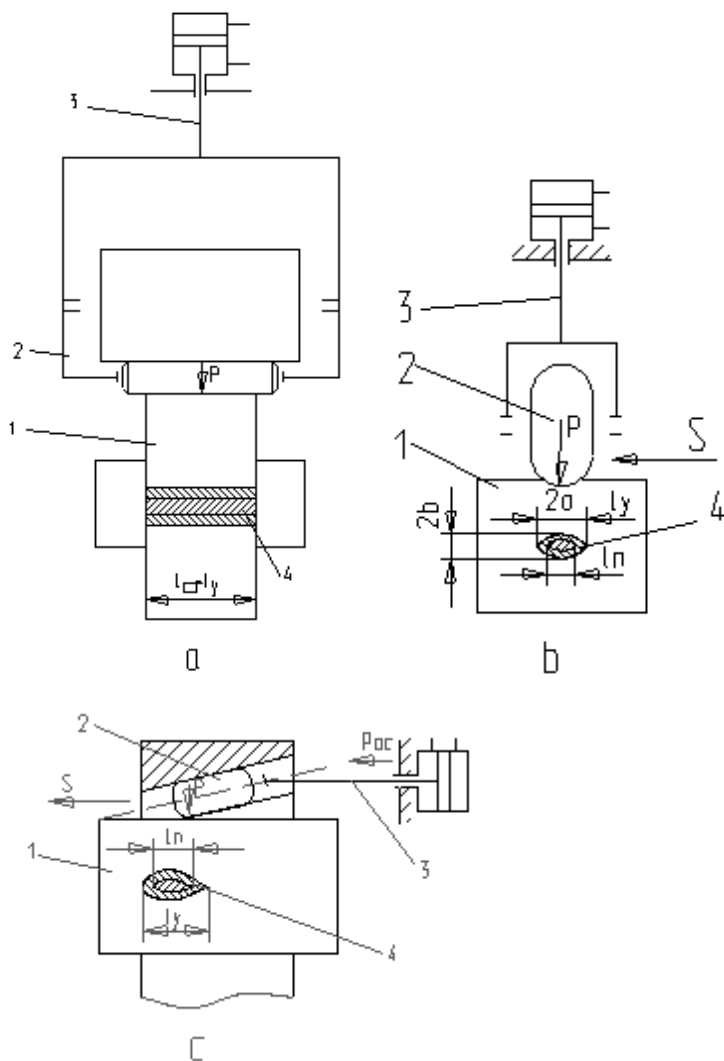


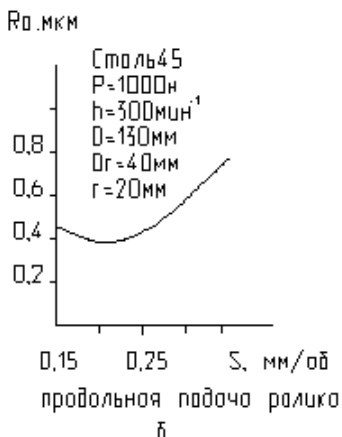
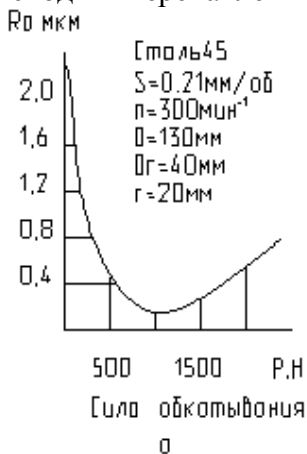
Рис.1 Характерные схемы обкатывания:

а – цилиндрическим роликом без осевой подачи; б – роликом кругло профиля; с – цилиндрическим или коническим роликом, установленным под углом к обрабатываемой поверхности: 1 – заготовка, 2 – ролик, 3 – система нагружения, 4 – пятно контакта, P – нормальная сила, $P_{ос}$ – осевая сила, l_n – длина пластического отпечатка, l_y – длина упругого отпечатка, S – подача.

Сила обкатывания оказывает большое влияние на процесс. Так при силе обкатывания больше оптимальной может произойти дестабилизация процесса и перенаклеп поверхности, может ухудшиться работа механизмов используемого оборудования и износ инструмента.

Обкатывание наиболее целесообразно производить за один рабочий ход, иногда используют второй и третий рабочие ходы, которые могут несколько улучшить состояние поверхности. Однако большое число рабочих ходов недопустимо, так как может привести к перенаклепу поверхности вследствие резкого возрастания кратности приложения силы. Зависимость параметра шероховатости от силы обкатывания (рис.2, а) носит параболический характер. Следующим по значению параметром обкатывания после силы является подача, которая может быть радиальной (рис.1, а) и осевой (рис.1, б, с).

Наилучшее качество поверхности достигается при обработке с радиальной подачей, однако на практике заготовку обычно обрабатывают с осевой подачей. С уменьшением подачи шероховатость поверхности уменьшается до определенного предела (рис.2, б), затем начинает возрастать. При обработке с подачами, меньшими оптимальных значений, может происходить перенаклеп поверхности.



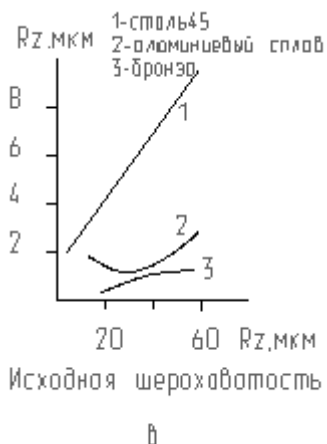


Рис.2. Зависимость параметра шероховатости поверхности от силы обкатывания (а), продольной подачи ролика (б), исходная шероховатость (в) при обкатывании стальными роликами.

Получаемая после обкатки шероховатость зависит от исходной шероховатости заготовки,

причём, чем пластичнее материал, тем в меньшей степени достигаемый параметр шероховатости поверхности зависит от исходного (рис.2, в).

Качество поверхности после обкатывания определяется не только высотой микронеровностей исходной поверхности, но также их формой и расположением. Неравномерные по высоте и шагу микронеровности вызывают «пятнистость», неоднородность упрочненной поверхности и шероховатости. Наиболее благоприятна исходная поверхность с равномерно чередующимися выступами и округлыми впадинами. Глубокие вырывы и задиры, надломы гребешков, следы от вибрации резцов при их отводе резко ухудшают качество обкатанной поверхности. Беспорядочный характер микрогребешков на исходной поверхности, полученной например, абразивной обработкой, затрудняет их пластической деформирования. Однако обкатывание этих поверхностей во многих случаях улучшает их состояние. Наиболее оптимальный для обкатывания рельеф поверхности можно получить при стабильном процессе точения со значительными скоростями резания (190...200м/мин). Оптимальный параметр шероховатости исходной поверхности $Ra=1,25...5\text{мкм}$ для конструкционных сталей невысокой и средней твердости,

поэтому рекомендуется следующим образом обрабатывать поверхность:

а) для достижения $Ra=0,04\dots0,08\text{мкм}$ – точение до $Ra=1,25\dots2,5\text{мкм}$.

б) для достижения $Ra=0,16\dots0,32\text{мкм}$ – точение до $Ra=2,5\dots5\text{мкм}$ или шлифование до $Ra=2,5\text{мкм}$.

Для того чтобы управлять ходом технологического процесса с целью получения параметров шероховатости поверхности готового изделия необходимо получить математическую модель этого процесса, т.е. уравнение, устанавливающее связь получаемой при накатывании шероховатости с режимом накатывания и исходной шероховатостью.

Вывод подробного уравнения на основе теоретического анализа весьма сложен. В то же время построение эмпирической модели довольно просто позволяет решить поставленную задачу.

2. Построение эмпирической модели процесса.

Известно, что математическую модель процесса накатывания можно представить в виде:

$$R_a = C \cdot S^m \cdot R_{z3}^n \cdot P^k \quad (1)$$

где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля после накатывания мкм;

S – продольная подача, мм/об;

R_{z3} – средняя высота микронеровностей поверхности заготовки, мкм;

P – нагрузка на ролик, Н

C, m, n, k – коэффициенты, определяемые экспериментально.

Экспериментальные исследования процесса накатывания с целью определения численных значений коэффициентов C, m, n и k целесообразно провести с использованием метода планирования многофакторных экспериментов в определенном

порядке. Уравнение (1), описывающее процесс накатывания, путем логарифмирования преобразуется к линейному виду:

а) в натуральных координатах:

$$\ln(Ra) = \ln(C) + m \ln(S) + n \ln(R_{z3}) + k \ln(P) \quad (2)$$

б) в кодовых координатах:

$$Y = v_0 x_0 + v_1 x_1 + v_2 x_2 + v_3 x_3 \quad (3)$$

где v_0, v_1, v_2, v_3 – коэффициенты, являются оценками неизвестных параметров – $\ln(C), m, n, k$ – соответственно;

Y, x_1, x_2, x_3 – кодовое обозначение переменных $\ln(Ra), \ln(S), \ln(R_{z3}), \ln(P)$.

Для определения четырех коэффициентов (v_0, v_1, v_2, v_3) линейного уравнения достаточно поставить четыре опыта ($N=4$) при двух уровнях варьирования независимых переменных (табл.1).

Уровни варьирования: В-верхний уровень, Н-нижний уровень. Они имеют числовые значения в кодовых координатах:

$V=+1,$

$H=-1.$

Кодирование проведено по формуле:

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{iв})}{\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{iн}} \quad (4)$$

где \tilde{x}_i - натуральное значение i – фактора

$\tilde{x}_{iв}, \tilde{x}_{iн}$ - натуральные значения фактора на верхнем и нижнем уровнях.

Таблица 1. Уровни варьирования переменных

Уровни факторов	Числовые значения уровней варьирования в натуральных координатах		
	Продольная подача мм/об (S) $\tilde{X}_{1в}, \tilde{X}_{1н}$	R_{z3} -чист. поверх. заготовки, мкм $\tilde{X}_{2в}, \tilde{X}_{2н}$	Нагрузка на ролик Р, Н $\tilde{X}_{3в}, \tilde{X}_{3н}$
V(+1)			
H(-1)			

Принятое кодирование переменных и уровней их варьирования необходимо при получении ортогональной

матрицы планирования, позволяющей при математической обработке результатов эксперимента искомые коэффициенты определять независимо друг от друга.

План проведения эксперимента и результаты опытов записываются в табл.2.

Таблица 2. План проведения эксперимента

Номер опыта	План эксперимента в кодовых координатах				План эксперимента в натуральных координатах			Результаты натуральных опытов П=2	
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	S	R _{z3}	P	Y _{i1}	Y _{i2}
1	+1	-	-	+					
2	+1	+	-	-					
3	+1	-	+	-					
4	+1	+	+	+					

Согласно приведенному в табл.2 плану эксперимента, изготавливаются образцы с заданными уровнями исходной шероховатости, после чего производятся опыты с заданным режимом обкатывания. Коэффициенты C, m, n, k уравнения (1) определяются в следующем порядке:

Определяем коэффициенты v_0, v_1, v_2, v_3 по формулам:

$$B_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j, \quad (5)$$

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} Y_j, \quad (6)$$

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n Y_{jr}, \quad (7)$$

где N – число опытов в матрице;

i – номер фактора;

j – номер опыта;

n – число параллельных опытов;

r – номер параллельного опыта

По результатам вычислений получим уравнение в кодовых уравнениях к значимости коэффициентов.

С целью оценки отклонений параметра оптимизации от его среднего значения для каждой строки матрицы планирования

вычисляем дисперсии S_j^2 опыта по данным и параллельным опытам:

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (Y_{jr} - \bar{Y}_j)^2, \quad (8)$$

Далее проверяем однородность дисперсии. При одновременном дублировании опытов однородность ряда дисперсии проверяют с помощью – критерия Кохрена, представляющего собой отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_1^2 + S_2^2 + S_N^2} = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, \quad (9)$$

Дисперсии однородны, если расчетное значение G – критерия не превышает табличное значение G_T – критерия (табл.14, стр.24[1]).

Если дисперсии S_j^2 опытов однородны, то дисперсию воспроизводимости эксперимента вычисляем по выражению:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2, \quad (10)$$

После вычисления коэффициентов уравнения проводим проверку их значимости сравнением абсолютной величины коэффициента с доверительным интервалом. При этом вычисляются дисперсии коэффициентов по формуле:

$$S^2\{B_i\} = \frac{1}{n \cdot N} \cdot S_y^2, \quad (11)$$

и определяется доверительный интервал

$$\Delta B_i = \pm t_T \cdot S\{B_i\}, \quad (12)$$

где t_T – табличное значение критерия (табл.14, стр.26[1]) при принятом уровне значимости и числе степеней свободы f , с которым определялась дисперсия S_y^2 . При равномерном дублировании опытов число степеней свободы находится по выражению:

$$S=N(n-1), \quad (13)$$

Коэффициент значимости, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Статически незначимые коэффициенты могут быть исключены из уравнения.

После расчета коэффициентов модели и проверки их значимости определяем дисперсию адекватности S_{ag}^2 , характеризующую расстояние эмпирических значений Y относительно расчетных Y , определяемых по найденному уравнению регрессии:

$$S_{ag}^2 = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^N (Y_j - Y_j)^2}{f} = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^N (Y_j - Y_j)}{N - (t + 1)}, \quad (14)$$

Y_j – значение параметра оптимизации вычисленное по модели для условий j опыта;

f – число степеней свободы, равное $f=N-(t+1)$

t – число факторов

Далее проводим проверку гипотезы адекватности найденной модели. Проверку этой гипотезы проводим по F – критерию Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_Y^2}, \quad (15)$$

Если значение $F_p < F_T$ для принятого уровня значимости и соответствующих чисел степеней свободы, то модель считается адекватной.

Значение F_T берется из справочника.

Для перехода от кодированных значений факторов к натуральным в уравнении (3) подставляется значение факторов x_1, x_2, x_3 по выражениям (4):

$$\ln Ra = B_0 + B_1 \left[\frac{2(\ln \tilde{x}_1 - \ln \tilde{x}_{1B})}{\ln \tilde{x}_{1B} - \ln \tilde{x}_{1H}} + 1 \right] + B_2 \left[\frac{2(\ln \tilde{x}_2 - \ln \tilde{x}_{2B})}{\ln \tilde{x}_{2B} - \ln \tilde{x}_{2H}} + 1 \right] + B_3 \left[\frac{2(\ln \tilde{x}_3 - \ln \tilde{x}_{3B})}{\ln \tilde{x}_{3B} - \ln \tilde{x}_{3H}} + 1 \right], \quad (16)$$

Проводим алгебраические преобразования этого уравнения к виду (2), затем потенцируем и получаем уравнение в виде (1).

В связи с трудоемкостью вычисления коэффициентов, обработку экспериментальных данных целесообразно поводить на ЭВМ с использованием разработанной программы.

В процессе анализа полученных результатов по величине и знаку коэффициентов m , n , k можно судить о степени и характере влияния соответствующих параметров (S , R_{z3} , P) на величину шероховатости.

Так, если знак при m положительный, то с увеличением подачи S шероховатость увеличивается и наоборот.

При проведении анализа для наглядности необходимо построить графики зависимости $Ra=f(S)$; $Ra=f(R_{z3})$; $Ra=f(P)$ при фиксированных значениях остальных параметров.

3. Порядок выполнения работы

1. Измерить шероховатость поверхности образцов-заготовок
2. Провести накатывание образцов
3. Измерить полученную шероховатость поверхности после накатывания
4. Ознакомиться с инструкцией обработки экспериментальных данных на ЭВМ
5. Провести математическую обработку результатов
6. Дать анализ результатов с построением графиков функций:
7. $Ra=f(S)$, $Ra=f(R_{z3})$, $Ra=f(P)$

4. Отчет

1. Наименование работы
2. Характеристика оборудования, оснастки, приборов, образцов
3. Схема накатывания
4. Таблица с исходными данными
5. Таблица с планом эксперимента и результатами эксперимента
6. Модель в кодированных координатах
7. Математическая модель в натуральных значениях переменных
8. Зависимости шероховатости от параметров процесса накатывания

5. Контрольные вопросы

1. К какому методу обработки относится метод обкатки роликом?
2. Применительно к каким деталям используется метод обкатки роликом?
3. Каков характер влияния обкатки роликом на эксплуатационные свойства деталей?
4. Какие технологические характеристики процесса обкатывания роликом оказывают влияние на шероховатость поверхности после обработки?