

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИЯХ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД И АВИААГРЕГАТОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» в качестве методического указания для подготовки магистров по направлению 24.04.05 – «Двигатели летательных аппаратов».

САМАРА
Издательство Самарского университета
2017

УДК: 621.787.4

Составители: А. Н. Швецов, Д. Л. Скуратов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю.С. Горшков

Определение рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания деталей ГТД и авиаагрегатов: методические указания / А. Н. Швецов, Д. Л. Скуратов, – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. – 29 с.

В методических указаниях к лабораторной работе по определению рациональных условий обработки на операциях упрочнения поверхностей методом алмазного выглаживания, представлена математическая модель и ее реализация в программе расчёта.

Методические указания предназначены для студентов механических факультетов, обучающихся по подготовке магистров по направлению 24.04.05 – «Двигатели летательных аппаратов»

Подготовлен на кафедре технологий производства двигателей.

УДК: 621.787.4

© Самарский университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Процесс алмазного выглаживания относится к одним из самых простых и эффективных методов поверхностно пластического деформирования. Данный метод применяется на финишных операциях, на которых обеспечивается окончательное качество поверхности деталей. Данный метод получил достаточно широкое распространение в различных отраслях производства. Выглаживанию подвергаются детали как ГТД так авиаагрегатов. Так алмазному выглаживанию подвергаются внутренние и наружные поверхности валов турбин низкого и среднего давлений двигателей НК-25 и НК-32, цилиндры и поршни стоек шасси самолётов Ил-76 и Ту-134А и др. изделия авиастроения.

В зависимости от особенностей установки выглаживающего инструмента на станке различают два способа выглаживания – с жестким и упругим закреплением инструмента. При жестком закреплении инструмента обеспечивается жесткая кинематическая связь между выглаживателем и обрабатываемой заготовкой, повышается точность диаметральных размеров и формы поверхностей, при этом не обеспечивается стабильная шероховатость поверхности и состояние поверхностного слоя вследствие колебания прижимного усилия. При упругом способе закрепления инструмента отсутствует жесткая кинематическая связь между обрабатываемой поверхностью заготовки и выглаживателем, глубина его вдавливания в обрабатываемую поверхность заготовки будет поддерживаться одинаковой за счет обеспечения постоянной силы выглаживания, создаваемой нагружающим элементом державки. Наибольшее распространение получили оправки с пружинным элементом нагружения.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – получение практических навыков и закрепление теоретических знаний в области определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания.

Задачи:

- ознакомиться с математической моделью для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания заготовок;
- ознакомиться с методикой расчёта режимов алмазного выглаживания поверхностей;
- приобрести практические навыки определения рациональных условий обработки для операций алмазного выглаживания;
- ознакомиться с программой расчёта режимов алмазного выглаживания поверхностей.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Ознакомиться с математической моделью для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания цилиндрических поверхностей заготовок.
4. Ознакомиться с методикой расчёта режимов алмазного выглаживания.
5. Определить наивыгоднейшие условия обработки для поверхностей заготовки, указанных в индивидуальном задании.
6. Ознакомиться с программой расчёта для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания.
7. Провести обработку заготовки и оценить заданные параметры шероховатости поверхности и величины остаточных напряжений.
8. Оформить отчёт по работе.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Металлорежущее оборудование:

- токарно-винторезные станки.

Выглаживающие инструменты:

- инденторы из натурального алмаза;
- инденторы из синтетического алмаза.

Оправки:

- оправка с пружинным элементом нагружения (рис. 1).

Средства измерений:

- штангенциркуль, гладкие микрометры для измерения диаметров и линейных размеров заготовки;
- тахометр для определения числа оборотов заготовки;
- автоматизированный профилометр-профилограф модели БВ-7669 (рис. 2), для контроля шероховатости обработанных поверхностей;
- автоматизированная установка для определения остаточных напряжений АСБ-1 (рис. 3).

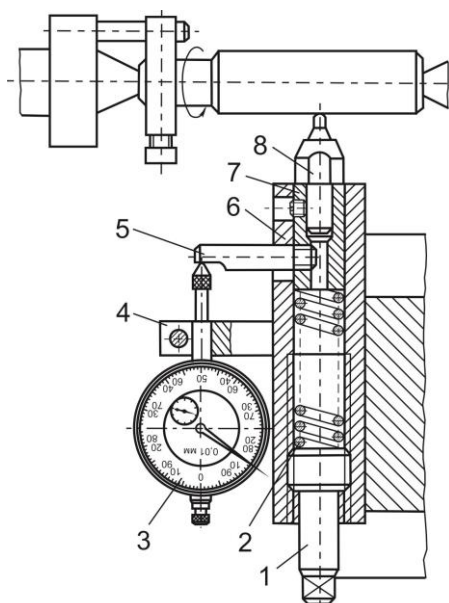


Рис. 1. Державка пружинного типа: 1 – регулировочный винт, 2 – тарировочная пружина, 3 – индикатор часового типа, 4 – державка, 5 – упор, 6 – корпус, 7 – шток, 8 – алмазный выглаживатель

Программное обеспечение:

– авторская программа для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания заготовок.



Рис.2. Автоматизированный профилограф-профилометр модели БВ-7669



Рис.3. Автоматизированная установка для определения остаточных напряжений АСБ-1

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ОПЕРАЦИИ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ЗАГОТОВОК

Для решения задачи научно-обоснованного определения рациональных условий обработки цилиндрических поверхностей на операциях алмазного выглаживания, в том числе при производстве различных деталей аэрокосмической техники, необходимо выбрать целевую функцию, технические ограничения и на их базе разработать математическую модель, позволяющую получить рациональные режимы обработки при различных сочетаниях управляемых параметров процесса выглаживания.

В настоящей лабораторной работе представлена линейная математическая модель, позволяющая произвести оптимизацию в детерминированной постановке, при которой действие возмущающих параметров (колебания прижимного усилия, изменение прочностных характеристик материалов заготовки по её длине и т.д.) во внимание не принимается. Задача по определению рациональных условий обработки в данном случае сводится к задаче линейного программирования.

4.1. ВЫБОР ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Чаще всего при определении рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания, то есть вида и марки алмаза, радиуса алмазной сферы, режима обработки, смазывающего средства и т.д., в качестве целевой функции принимается себестоимость операции. При этом переменная доля себестоимости операции при выглаживании одним инструментом также как и при других видах обработки определяется по формуле

$$C = t_0 E + \frac{t_c}{Q} E + \frac{\mathcal{E}_u}{Q},$$

где t_0 – основное технологическое (машинное) время, мин; E – себестоимость одной минуты работы станка и станочника, руб.; t_c – время,

затрачиваемое на снятие изношенного инструмента и установку нового или восстановленного, а также подналадку станка, мин; \mathcal{E}_u – затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за период его стойкости, руб.; Q – количество деталей, обработанных за период стойкости, шт.

При правильном построении производственного процесса определение рациональных условий обработки на операции алмазного выглаживания должно основываться на экономическом периоде стойкости инструмента. При использовании в расчетах экономических периодов стойкости режимы выглаживания, обеспечивающие наименьшее время обработки, будут одновременно и наиболее экономичными [6]. Поэтому в качестве целевой функции при процессе алмазного выглаживания заготовок целесообразно использовать уравнение, определяющее машинное время обработки.

Исходя из выше изложенного, уравнение целевой функции будет иметь следующий вид:

$$f_m = 100 \frac{i \cdot l_m}{100S_0 n}, \quad (1)$$

где i – число проходов инструмента; l_m – длина пути инструмента в направлении подачи, мм; S_0 – подача, мм/об; n – частота вращения заготовки, об/мин.

В целевой функции (1) и последующих технических ограничениях для удобства вычислений принято вместо $S_0 \rightarrow 100S_0$, с соответствующими поправками в правой части уравнения.

Большинство деталей аэрокосмической техники работают при высоких давлениях, температурах и в условиях знакопеременных нагрузок, вследствие чего к качеству обработки этих деталей особенно на окончательных операциях предъявляются повышенные требования. В связи с вышеизложенным, на операции алмазного выглаживания, являющиеся, как правило, финишными, должны накладываться определенные технические ограничения.

Ограничение, связанное со стойкостью выглаживающего инструмента

Скорость обработки при выглаживании, определяется из условия полного использования свойств инструмента на основании неравенства:

$$v \leq \frac{C'_v k_m}{T^{m_v} Ra_{ucx}^{n_v} P_y^{x_v}}, \quad (2)$$

где v – скорость выглаживания, м/мин; C'_v – коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы; k_m – поправочный коэффициент, учитывающий изменение реальных условий обработки относительно тех при которых определялся коэффициент C'_v ; T – заданная стойкость выглаживателя, равная 600...1800 мин (10...30 часам); Ra_{ucx} – исходное значение шероховатости поверхности, мкм; P_y – сила выглаживания (радиальная сила), Н; n_v, m_v, x_v – показатели степени, характеризующие влияние T, Ra_{ucx}, P_y на скорость выглаживания.

Подставив значение v , определяемое по формуле $v = \frac{\pi D n}{1000}$, в неравенство (2) получим первое техническое ограничение:

$$n P_y^{x_v} \leq \frac{1000 C'_v k_m}{\pi D T^{m_v} Ra_{ucx}^{n_v}}, \quad (3)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Ограничение, связанное с точностью обработки

В процессе выглаживания обрабатываемый размер уменьшается на величину [18]:

$$\Delta d = \frac{4}{3} (Rz_{ucx} - Rz),$$

где Rz – значение шероховатости поверхности после выглаживания, мкм.

При этом погрешность на диаметральный размер обрабатываемой поверхности не должна превышать допуск, вследствие чего необходимо выполнение следующего условия:

$$\frac{4}{3} C_{Rz} (Ra_{ucx} - Ra) \leq k_3 \delta, \quad (4)$$

где C_{Rz} - коэффициент перевода параметра шероховатости из Ra в Rz , $C_{Rz} = 4 \dots 5$; Ra_{ucx} и Ra - соответственно исходное и полученное значения шероховатости, мкм; k_3 - коэффициент, показывающий в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией обработки; δ - допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм.

Преобразовав неравенство (4), путем подстановки в него выражения, описывающего шероховатость поверхности при выглаживании $Ra = C_S S_0^y P_y^x Ra_{ucx}^n R^m \nu^z$, и решив относительно n, S_0, P_y , получим второе техническое ограничение:

$$n^z (100 S_0)^y P_y^x \geq \frac{100^y \cdot 318^z \cdot (C_{Rz} Ra - 0,75 k_3 \delta)}{C_S C_{Rz} D^z Ra_{ucx}^n R^m}. \quad (5)$$

Ограничение, связанное с предельно допускаемой шероховатостью обработанной поверхности

Шероховатость обработанной поверхности зависит от силы выглаживания, радиуса инструмента, скорости и подачи выглаживания, а также значения исходной шероховатости:

$$C_S S_0^y P_y^x Ra_{ucx}^n R^m \nu^z \leq Ra \quad (6)$$

где C_S - коэффициент, определяющий конкретные условия выглаживания; R - радиус инструмента, мм; n, m, x, y, z - показатели степени, характеризующие влияние $Ra_{ucx}, R, P_y, S_0, \nu$ на параметр шероховатости Ra .

Произведя необходимые преобразования, получим третье техническое ограничение:

$$n^z (100S_0)^y P_y^x \leq \frac{100^y \cdot 318^z \cdot Ra}{C_S D^z Ra_{ucx}^n R^m} . \quad (7)$$

Значения показателей степеней и коэффициента C_S для сталей используемых в авиадвигателестроении и при производстве авиаагрегатов с использованием как натуральных так и синтетических алмазов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты, используемые в ограничениях (6) и (7)

Обрабатываемый материал (алмаз)	при P_y , Н	C_S	x	y	z	m	n
15X12H2МВФАБ-Ш (синтетический)	от 50 до 200	50	-0,52	0,8	-0,11	-1,05	0,65
	свыше 200	$99 \cdot 10^{-8}$	2,82				
15X12H2МВФАБ-Ш (натуральный)	от 50 до 200	200	-1,54	0,17	-0,26	-0,31	0,44
	свыше 200	$14,6 \cdot 10^{-4}$	0,71				
30ХГСН2А-ВД (синтетический)	от 50 до 200	9,84	-0,49	0,6	0,14	-1,15	0,457
	свыше 200	$18,6 \cdot 10^{-5}$	1,47				

Ограничение, связанное с температурой обработки

При алмазном выглаживании температура в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки, а также скорости нагрева и охлаждения поверхности могут быть достаточными для того, чтобы в поверхностном слое произошли структурные и фазовые превращения. Кроме того, практически у всех металлов и сплавов при температуре более 550...600°C резко возрастает адгезионное взаимодействие с алмазом вследствие чего происходит катастрофический износ инструмента. Поэтому необходимо, чтобы температура в зоне резания не превышала критических значений, то есть должно выполняться условие:

$$\theta \leq \theta_{кр} , \quad (8)$$

где θ – температура в зоне резания, °C; $\theta_{кр}$ – критическая температура в зоне обработки, °C.

Подставив значение θ , определяемое по зависимости $\theta = C_{\theta} S_0^{y_{\theta}} P_y^{x_{\theta}} R^{m_{\theta}} \nu^{z_{\theta}}$, в уравнение (4.8) и произведя необходимые преобразования, получим четвертое техническое ограничение:

$$n^{z_{\theta}} (100S_0)^{y_{\theta}} P_y^{x_{\theta}} \leq \frac{\theta_{кр} \cdot 318^{z_{\theta}} \cdot 100^{y_{\theta}}}{C_{\theta} D^{z_{\theta}} R^{m_{\theta}}}, \quad (9)$$

где C_{θ} – коэффициент, отражающий влияние условий обработки на температуру в зоне обработки; $x_{\theta}, y_{\theta}, z_{\theta}, m_{\theta}$ – показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно P_y, S_0, ν, R на величину температуры.

Ограничения, связанные с кинематическими возможностями станка

При выглаживании частота вращения обрабатываемой заготовки или инструмента и подача должны быть ограничены, соответственно, наибольшим и наименьшим числом оборотов шпинделя и наибольшей и наименьшей подачами, которые могут быть установлены на станке. Тогда технические ограничения, обусловленные кинематическими возможностями станка, будут иметь вид:

- пятое техническое ограничение

$$n \geq n_{cm \min}, \quad (10)$$

где $n_{cm \min}$ – минимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- шестое техническое ограничение

$$n \leq n_{cm \max}, \quad (11)$$

где $n_{cm \max}$ – максимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- седьмое техническое ограничение

$$100S_0 \geq 100S_{cm \min}, \quad (12)$$

где $S_{cm \min}$ – минимальная продольная подача станка, мм/об;

- восьмое техническое ограничение

$$100S_0 \leq 100S_{ст\ max}, \quad (13)$$

где $S_{ст\ max}$ – максимальная продольная подача станка, мм/об.

Ограничения, обусловленные требованиями выглаживания

Значение радиальной силы должно соответствовать требованиям, предъявляемым к обработанной поверхности, а именно: условию смятия исходных микронеровностей при сглаживающем или условию упрочнения при упрочняющем выглаживании. Величина силы выглаживания определяется в соответствии с формулой

$$P_y = \pi \cdot \varepsilon \cdot HV \left(\frac{DR}{D+R} \right)^2$$

в которой, относительное внедрение инструмента определяется

$$\varepsilon = \frac{h}{R} = \frac{k_i \cdot Rz_{ucx}}{R},$$

Технические ограничения, обусловленные требованиями выглаживания, будут иметь вид:

$$P_y \geq \pi \cdot HV \cdot \frac{k_1 C_{Rz} Ra_{ucx}}{R} \left(\frac{DR}{D+R} \right)^2; \quad (14)$$

$$P_y \leq \pi \cdot HV \cdot \frac{k_2 C_{Rz} Ra_{ucx}}{R} \left(\frac{DR}{D+R} \right)^2, \quad (15)$$

где для сглаживающего режима $k_1 = 0,7$, $k_2 = 1,0$, а для упрочняющего $k_1 = 1,1$, $k_2 = 1,3$, HV – твердость обрабатываемого материала по Викерсу.

Ограничение, обусловленное требованиями к величине остаточных напряжений

Величина составляющей окружных остаточных напряжений $\sigma_o^* = \sigma_o - \mu\sigma_\tau$ не должно быть меньше требуемой величины сжимающих остаточных напряжений

$$\sigma_{o \min}^* \leq \sigma_o^* \quad (16)$$

Подставив значение σ_o^* , определяемое по зависимости $\sigma_o^* = C_\sigma S_o^{y_\sigma} P_y^{x_\sigma} R^{m_\sigma} \nu^{z_\sigma}$, в уравнение (16) и произведя необходимые преобразования, получим одиннадцатое техническое ограничение:

$$n^{z_\sigma} (100S_o)^{y_\sigma} P_y^{x_\sigma} \geq \frac{100^{y_\sigma} \cdot 318^{z_\sigma} \cdot \sigma_{o \min}^*}{C_\sigma D^{z_\sigma} R^{m_\sigma}}, \quad (17)$$

где C_σ - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на величину окружной составляющей остаточных напряжений; $x_\sigma, y_\sigma, z_\sigma, m_\sigma$ - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно P_y, S_o, ν, R на величину окружных остаточных напряжений. Значения показателей степеней и коэффициента C_σ при использовании синтетических алмазов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Коэффициенты, используемые в ограничениях (17)

Обрабатываемый материал	C_σ	x_σ	y_σ	z_σ	m_σ
15X12H2МВФАБ-Ш	190	0,034	-0,175	0,045	-0,105
30ХГСН2А-ВД	318	0,183	-0,145	-0,087	-0,377

4.2. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Преобразуем полученные выше неравенства, связывающие технические ограничения с элементами режима выглаживания, а также целевую функцию в линейные ограничения-неравенства и линейную целевую функцию. Решение полученной системы линейных уравнений при заданных определяющих и управляемых параметрах позволит на стадии проектирования технологического процесса определить рациональные условия обработки для операций алмазного выглаживания.

Для получения системы линейных ограничений-неравенств и линейной целевой функции, моделирующих процессы алмазного выглаживания, прологарифмируем зависимости (3), (5), (7), (9)-(15), (17) и (1), которые после введения обозначений будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_\nu x_3 \leq b_1; \\ zx_1 + yx_2 + xx_3 \geq b_2; \\ zx_1 + yx_2 + xx_3 \leq b_3; \\ z_\theta x_1 + y_\theta x_2 + x_\theta x_3 \leq b_4; \\ x_1 \geq b_5; \\ x_1 \leq b_6; \\ x_2 \geq b_7; \\ x_2 \leq b_8; \\ x_3 \geq b_9; \\ x_3 \leq b_{10}; \\ z_\sigma x_1 + y_\sigma x_2 + x_\sigma x_3 \geq b_{11}. \end{array} \right. \quad (18)$$

$$f_{m0} = c_0 - x_1 - x_2$$

где $x_1 = \ln n$; $x_2 = \ln(100S)$; $x_3 = \ln P_y$;

$$b_1 = \ln \left(\frac{1000C'_\nu k_m}{\pi T^{m_\nu} Ra_{ucx}^n D} \right);$$

$$b_2 = \ln \left(\frac{100^\nu \cdot 318^z \cdot (C_{Rz} Ra - 0,75k_3 \delta)}{C_S C_{Rz} D^z Ra_{ucx}^n R^m} \right);$$

$$b_3 = \ln \left(\frac{100^\nu \cdot 318^z \cdot Ra}{C_S D^z Ra_{ucx}^n R^m} \right);$$

$$b_4 = \ln \left(\frac{\theta_{\kappa\theta} \cdot 318^{z_\theta} \cdot 100^{y_\theta}}{C_\theta D^{z_\theta} R^{m_\theta}} \right);$$

$$b_5 = \ln(n_{\min});$$

$$b_6 = \ln(n_{\max});$$

$$b_7 = \ln(100S_{\min});$$

$$b_8 = \ln(100S_{\max});$$

$$b_9 = \ln\left(\pi \cdot HV \cdot \frac{k_1 C_{Rz} Ra_{ucx}}{R} \left(\frac{DR}{D+R}\right)^2\right);$$

$$b_{10} = \ln\left(\pi \cdot HV \cdot \frac{k_2 C_{Rz} Ra_{ucx}}{R} \left(\frac{DR}{D+R}\right)^2\right);$$

$$b_{11} = \ln\left(\frac{100^{y_\sigma} \cdot 318^{z_\sigma} \cdot \sigma_o^* \min}{C_\sigma \cdot D^{z_\sigma} \cdot R^{m_\sigma}}\right);$$

$$f_{m0} = \ln f_m;$$

$$c_0 = \ln(100 \cdot i \cdot l_m).$$

Полученная система линейных ограничений-неравенств (18) и линейная функция f_0 представляют собой математическую модель для определения рациональных условий при алмазном выглаживании заготовок.

Решение задачи может быть упрощено за счет приведения системы (18) с тремя неизвестными к системе с двумя неизвестными, в результате чего аналитическое и графическое решение задачи осуществляется в двухмерном пространстве. Для проведения преобразований выразим x_3 из ограничения-неравенства, связанного с температурой обработки:

$$x_3 = \frac{b_4 - z_\theta x_1 - y_\theta x_2}{x_\theta}$$

и подставим его значение во все остальные неравенства системы (18). В результате получим новую систему, содержащую два неизвестных, x_1 и x_2 :

$$\left\{ \begin{array}{lll} \left(\frac{x_\theta}{x} - z_\theta \right) x_1 & - y_\theta x_2 & \leq b_1 \frac{x_\theta}{x_v} - b_4; \\ \left(z \frac{x_\theta}{x} - z_\theta \right) x_1 & + \left(y \frac{x_\theta}{x} - y_\theta \right) x_2 & \geq b_2 \frac{x_\theta}{x} - b_4; \\ \left(z \frac{x_\theta}{x} - z_\theta \right) x_1 & + \left(y \frac{x_\theta}{x} - y_\theta \right) x_2 & \leq b_3 \frac{x_\theta}{x} - b_4; \\ x_1 & & \geq b_5; \\ x_1 & & \leq b_6; \\ & x_2 & \geq b_7; \\ & x_2 & \leq b_8; \\ z_\theta x_1 & + y_\theta x_2 & \geq b_4 - b_9 x_\theta; \\ z_\theta x_1 & + y_\theta x_2 & \leq b_4 - b_{10} x_\theta; \\ \left(z_\sigma \frac{x_\theta}{x_\sigma} - z_\theta \right) x_1 & + \left(y_\sigma \frac{x_\theta}{x_\sigma} - y_\theta \right) x_2 & \geq b_3 \frac{x_\theta}{x_\sigma} - b_4; \end{array} \right. \quad (19)$$

На основании математической модели с использованием данных эмпирических зависимостей можно рассчитать рациональные условия обработки на операциях алмазного выглаживания.

5. ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Графический метод дает наглядное представление о влиянии технических ограничений на режимы обработки и позволяет проанализировать за счет чего в данном конкретном случае возможно увеличение производительности процесса обработки алмазным выглаживанием.

Определение рациональных режимов обработки на операциях алмазного выглаживания в соответствии с математической моделью (19) может быть выполнено графическим методом (рис. 4). В этом случае каждое техническое ограничение представляется прямой, которые об-

разуют область, в которой находится решение системы неравенств. Граничные прямые, пересекаясь, образуют многогранник, внутри которого в любой точке находится решение, удовлетворяющее всем без исключения техническим ограничениям. Исходя из теории линейного программирования следует, что экстремальное значение целевой функции при выпуклом многограннике решений обеспечивается для неизвестных x_1 и x_2 , соответствующим точке, лежащей на одной из граничных прямых, или точке их пересечения.

Задача поиска оптимальных значений x_1 и x_2 сводится к последовательному вычислению координат всех возможных точек пересечения граничных прямых и определению для них наибольшей суммы неизвестных $f = (x_1 + x_2) \Rightarrow \max$.

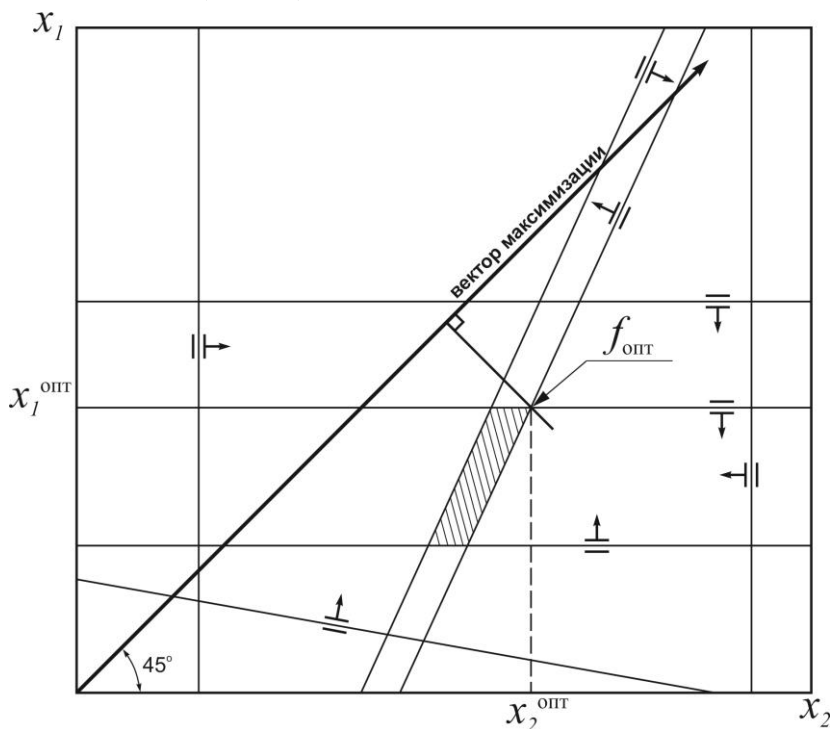


Рис.4. Графическое решение задачи

После определения координат x_1 и x_2 , обеспечивающих выполнение условия (19), вычисляются оптимальные значения элементов режима резания

$$n = e^{x_1}, \text{ об/мин,}$$
$$S_0 = \frac{e^{x_2}}{100}, \text{ мм/об.}$$

6. ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Определения рациональных условий на операциях алмазного выглаживания может также быть осуществлено с использованием специально разработанной программы.

Пример использования программы для определения рациональных условий при выглаживании наружной поверхности Ø108 мм.

После запуска программы открывается вкладка ввода исходных данных «Исходные данные», представленная на рис. 7.

На этой вкладке имеются окна для ввода исходных данных, определяющих характеристики станка, заготовки и инструмента.

В окне «Станок» в выпадающем списке оборудования выбирается токарно-винторезный станок, на котором осуществляется процесс выглаживания. При этом все его технические характеристики автоматически загрузятся.

В окне «Алмазный наконечник» из выпадающего списка выбирается тип выглаживающего инструмента, и его радиус сферы. В данном случае выбран алмазный наконечник из синтетического алмаза марки АСБ-1, с радиусом рабочей части 2,0 мм.

В окне «Обрабатываемый материал» выбирается обрабатываемый материал – сталь 15Х12Н2МВФАБ-Ш, вручную вводятся значения исходной и требуемой шероховатости, длина зоны обработки и её диаметр. Из выпадающего списка выбирается качество точности,

установленный на получаемую поверхность, выбирается число инструментальных проходов.

В окне «Прижимное усилие» осуществляется расчёт диапазона прижимного усилия, после чего вручную вводится значение усилия находящегося в указанном диапазоне.

После ввода всех исходных данных и нажатия кнопки «Применить» на экране монитора компьютера появляется главное диалоговое окно «Оптимизация режимов выглаживания» программы, представленное на рис. 8. В левой части данного окна расположена таблица со значениями коэффициентов системы уравнений, а в правой части расположена графическая интерпретация решения этой системы, показывающая область возможных решений. Напротив каждой строки в таблице написано к какому ограничению относится данная строка, а также указан цвет, которым будет отображаться ограничивающая прямая соответствующего технического ограничения. Программа позволяет учитывать не все ограничения, а лишь те, которые необходимы. После чего строится графическая интерпретация аналитического решения в виде области возможных значений режимов, из которых выбирается оптимальное значение. Пользователю предоставлены удобные средства для просмотра графического решения (перемещение области, изменение масштаба, мерцание выделенной прямой ограничения и т.д.).

Из области допустимых режимов обработки выбирается режим, обеспечивающий максимум целевой функции, то есть минимальное время обработки. Частота вращения шпинделя выбирается из перечня допустимых частот для выбранного станка. Результаты расчета представлены в левой верхней части диалогового окна.

Исходные данные

Станок / Инструмент / Заготовка

Станок

18616 (№280) 1970г.

л. мин	16.5
л. макс	1600
S, мин	0.02
S, макс	0.46

Качественные показатели

ОН, МПа 650

Алмазный наконечник

АСБ-1

2.0 мм

Прижимное усилие

Режим выглаживания

Сглаживание

Упрочнение

198.191! < Ру < 234.226:

200

Обработываемый материал

ЭП517-Ш (15X12Н2МВФАБ-Ш)

Твердость HV	3650
Шероховатость Ra иск	1.63
Шероховатость Ra	0.25
Длина заготовки	940
Диаметр заготовки	108

Квалитет точности IT7

Таблица значений допусков

Число инструментальных проходов 1

Рис. 7. Вкладка ввода исходных данных «Исходные данные» при определении режима алмазного выглаживания

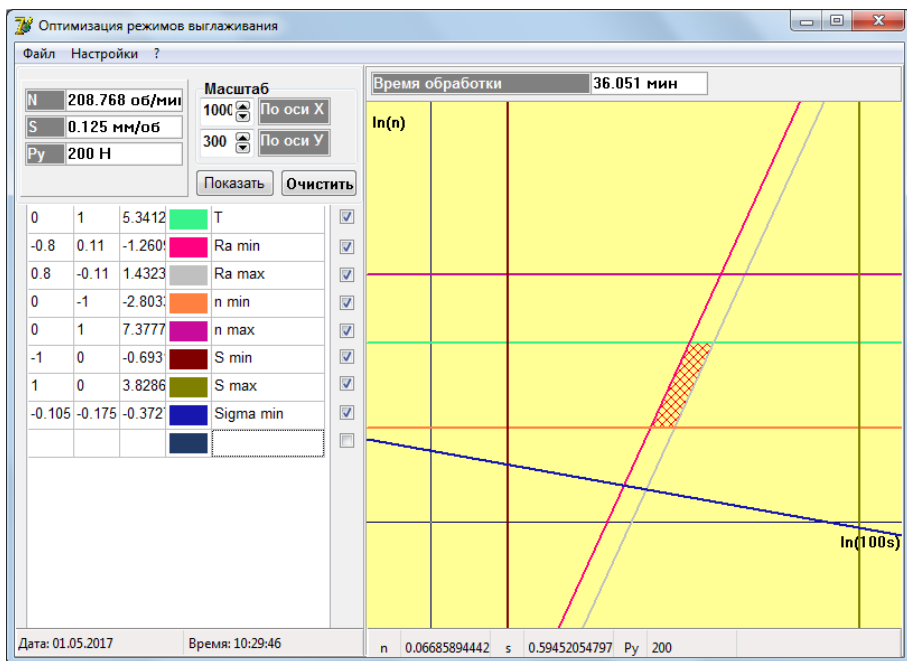


Рис. 8. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов выглаживания» при определении режима обработки внутренней поверхности вала Ø108 мм

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для осуществления процесса выглаживания используются части вырезанные из вала турбины низкого давления (рис. 5) и поршня стойки шасси самолёта (рис. 6). В качестве оправки для выглаживания используется оправка упругого типа.

Геометрические размеры заготовки и значение исходной шероховатости снимаются непосредственно с обрабатываемого образца, назначаемые режимы выглаживания устанавливаются с использованием математической модели для определения рациональных условий обработки.

После определения режимов выглаживания осуществляется выглаживание образца и исследование его шероховатости и величины сжимающих остаточных напряжений.

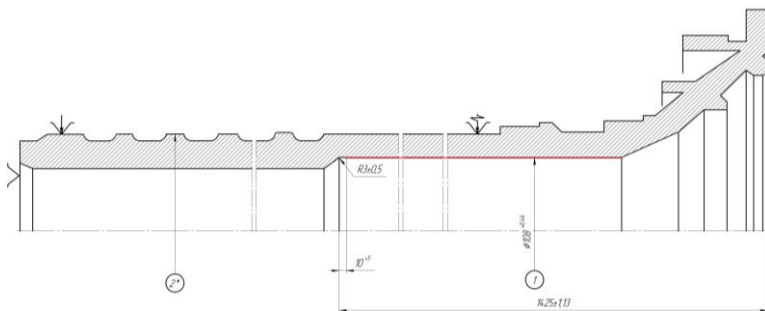


Рис.5. Эскиз вала турбины низкого давления

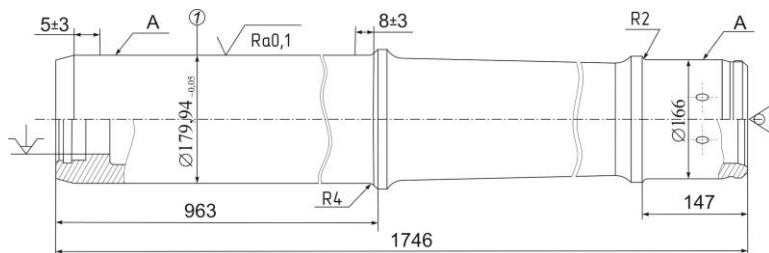


Рис.6. Эскиз поршня стойки шасси самолёта

На основании результатов измерений делается заключение о правильности выбранных условий обработки.

Для повышения качества обрабатываемых поверхностей и расширения технологических возможностей процесса, может быть использован способ отделочно-упрочняющей обработки включающей одновременное вращательное и качательное движения инструмента (приложение Б), который обеспечивает равномерный износ рабочего элемента выглаживающего инструмента тем самым повышая его стойкость.

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

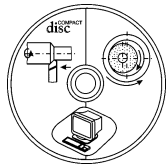
В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчёте приводятся: эскиз обрабатываемой детали с выделением обрабатываемой поверхности, для обработки которой определяются наивыгоднейшие условия выглаживания; результаты измерения геометрических параметров и параметров состояния поверхностного слоя обработанных поверхностей; результаты расчёта и область рациональных условий обработки; выводы по работе и ответ на индивидуальное задание.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить, что представляет собой математическая модель для определения рациональных условий обработки?
2. Что называется целевой функцией?
3. Что понимается под техническими ограничениями?
4. В каком случае задача по определению рациональных условий обработки может быть приведена к задаче линейного программирования?
5. Каким методом может быть решена задача линейного программирования?
6. Какие исходные данные могут варьироваться при определении рациональных условий обработки при алмазном выглаживании?
7. Как графически выглядит область рациональных условий обработки?
8. Какие параметры качества поверхности должны быть обеспечены при алмазном выглаживании?
9. К каким методам относится процесс алмазного выглаживания?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / А.Н. Резников [и др.]; под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Горанский, Г.К. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин [Текст] / Г.К. Горанский. – Минск: Госиздательство БССР, 1963. – 192 с.
3. Торбило, В.М. Алмазное выглаживание / В.М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.



Студент _____

Группа _____ Дата _____

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

«Определение рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания деталей ГТД и авиаагрегатов»

Цель работы:

1. Эскиз детали с выделением поверхностей, для которых определяются наивыгоднейшие условия обработки

2. Результаты измерения параметров обработанных поверхностей

Диаметр, мм	Шероховатость Ra , мкм		Величина остаточных напряжений σ , МПа	
	исходная	измеренная	требуемая	измеренная

3. Определение рациональных условий обработки графическим методом

$$n = \quad \text{об/мин}; \quad S_0 = \quad \text{мм/об}; \quad P_y = \quad \text{Н}.$$

5. Выводы по работе

4. Индивидуальное задание

Преподаватель _____

Способ отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием цилиндрических поверхностей, включающий вращательное движение детали и продольное перемещение выглаживающего алмазного инструмента, внедренного в обрабатываемую поверхность, отличающийся тем, что инструменту дополнительно сообщают возвратно-качательное движение в основной кинематической плоскости обработки.

На рисунке Б.1 представлена схема способа алмазного выглаживания, взаимодействие алмазного выглаживателя с поверхностью детали в основной плоскости обработки. Деталь 1 закрепляют в центрах 2 или патроне токарного станка и сообщают главное движение D_r . Инструменту одновременно сообщают продольное движение D_s пр., вращательное движение D_s вр. вокруг своей оси и возвратно-качательное движение Дв-к. в основной кинематической плоскости обработки. К обрабатываемой поверхности детали с определённым усилием, прижимают выглаживающий инструмент 3 с рабочим элементом 4, зависящим от твёрдости материала детали.

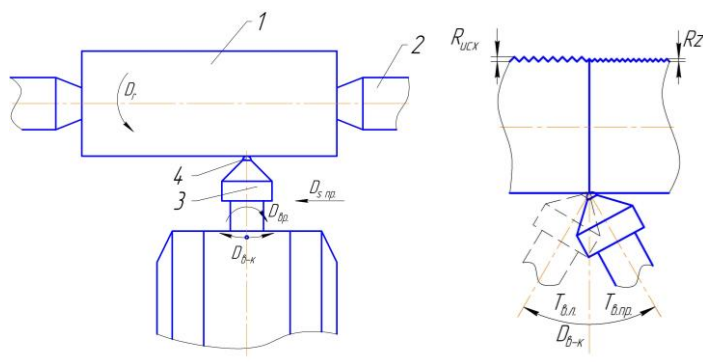


Рис. Б.1. Схема способа алмазного выглаживания

Учебное издание

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ
НА ОПЕРАЦИЯХ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД
И АВИААГРЕГАТОВ**

Методические указания к лабораторной работе

Составители: Алексей Николаевич Швецов

Редактор
Доверстка

Подписано в печать . Формат
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л.
Тираж экз. Заказ . Арт. -

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЁВА»
(Самарский университет)
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34