

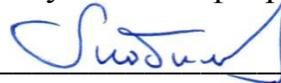
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт *Политехнический*  
Кафедра «*Электро- и нанотехнологии*»

Утверждено на заседании кафедры  
«Электро- и нанотехнологий»  
«19» января 2021 г., протокол №5

Заведующий кафедрой



В.В. Любимов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению практических занятий**  
**по дисциплине**  
**«*Специальные и упрочняющие технологии*»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
***15.03.01 Машиностроение***

с направленностью (профилем)  
***Машины и технологии высокоэффективных процессов***  
***обработки материалов***

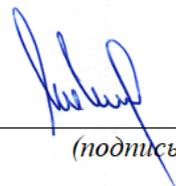
Форма обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 150301-01-21

Тула 2021 год

**Разработчик методических указаний**

Могильников В.А., доцент, докт.техн.наук, доцент  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ.

Тема практических занятий — решение технологических задач упрочнения поверхностного слоя деталей машин.

Занятия предназначены для закрепления студентами знаний полученных по курсу, для расширения границ их информированности по специальности, развития у них навыков выбора методов упрочнения в зависимости от требуемых выходных технологических показателей.

Практические занятия проводятся как групповые, так и предполагают самостоятельную работу студентов по индивидуальным заданиям под непосредственным контролем (руководством) преподавателя.

## 2. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ.

Задания выдаются студентам по вариантам в виде текстовых задач. Выполнение заданий предполагает использование справочной литературы. Необходимая дополнительная информация выбирается студентами самостоятельно или по согласованию с преподавателем.

## 3. СТРУКТУРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЙ

Занятия включают вопросы

- исследование особенностей применения методов упрочнения и схем реализации в конкретных технологических условиях;
- сопоставление методов упрочнения с целью выбора более эффективного;
- расчет режимов для различных методов упрочнения.
- изучение физических условий реализации методов упрочнения.

## 4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НА ЗАНЯТИЯХ

4.1. Выбрать из двух методов (алмазное точение, магнитно-абразивная обработка) наиболее производительный метод обработки роликов из стали 45 (HRCэ 48),  $D=100\text{мм}$ ,  $l=150\text{мм}$ , с целью получения параметра шероховатости  $Ra=0.3\text{ мкм}$ , при исходном его значении  $Ra=1.5\text{ мкм}$ .

Условия обработки:

- алмазное точение производится резцами оснащенными эльбором Р с радиусом при вершине  $r=1.5\text{ мм}$  и передним углом  $\gamma=0$ ;

- магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K=120$ ;  $V=84\text{ м/мин}$ ; зазор между полюсниками и деталью  $\delta=1\text{ мм}$ ; магнитная индукция  $B=1.0\text{ Тл}$ ; скорость осцилляции  $V_0=5\text{ м/мин}$ .

4.2. Выбрать из двух методов (алмазное точение, магнитно-абразивная обработка) метод обработки роликов из стали 45 (HRCэ 48),  $D=100\text{ мм}$ ,  $l=150\text{ мм}$ , позволяющий получить более высокую несущую способность шероховатости при исходном значении параметра шероховатости  $Ra=1.5\text{ мкм}$ .

Условия обработки:

- алмазное точение производится резцами оснащенными эльбором Р с радиусом при вершине  $r=1.5\text{ мм}$  и передним углом  $\gamma=0$ ; при режимах:  $S=0.1\text{ мм/об}$ ,  $V=150\text{ м/мин}$ ;

- магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС -3 при режимах: зернистость порошка  $K=120$ ;  $V=84\text{ м/мин}$  зазор между полюсниками и деталью  $=1\text{ мм}$ ;

магнитная индукция  $B = 1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_o = 5$  м/мин; время обработки  $T = 1.0$  мин.

4.3. Выбрать из двух методов (обкатывание, магнитно-абразивный) наиболее производительный метод упрочнения валов из стали 40X (HV 370),  $D = 50$  мм,  $l = 250$  мм, с целью получения параметра шероховатости  $R_a = 0.2$  мкм, при исходном его значении  $R_a = 1.5$  мкм.

Условия упрочнения:

-обкатывание производится роликом  $d = 30$  мм с цилиндрическим пояском  $v = 1.5$  мм,  $V_{max} = 150$  м/мин;

-магнитно-абразивное упрочнение производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K = 120$ ;  $V = 84$  м/мин; зазор между полюсниками и деталью  $\delta = 1$  мм; магнитная индукция  $B = 1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_o = 6$  м/мин.

4.4. Выбрать из двух методов (электро-контактный после предварительного шлифования, магнитно-абразивный) метод упрочнения валов из стали 45, позволяющий получить более высокую несущую способность шероховатости при исходном значении параметра шероховатости  $R_a = 1.6$  мкм.

Условия упрочнения:

-электро-контактное упрочнение производится роликом  $r = 1.5$  мм, с задним углом вдавливания ролика  $\varphi_a = 20$ , при режимах: сила тока  $I = 1500$  А, усилие  $P = 800$  Н,  $V = 30$  м/мин,  $S = 0.15$  мм/об;

-магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K = 120$ ;  $V = 84$  м/мин; зазор между полюсниками и деталью  $\delta = 1$  мм; магнитная индукция  $B = 1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_o = 5$  м/мин.

4.5. Выбрать из двух методов (электро-контактный после предварительного точения, магнитно-абразивный) метод упрочнения валов из стали 45, позволяющий получить более высокую несущую способность шероховатости при исходном значении параметра шероховатости  $R_a = 1.6$  мкм.

Условия упрочнения:

-электро-контактное упрочнение производится роликом  $r = 1.5$  мм, с задним углом вдавливания ролика  $\varphi_a = 20$ , при режимах: сила тока  $I = 500$  А, усилие  $P = 800$  Н,  $V = 30$  м/мин,  $S = 0.15$  мм/об;

-магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K = 120$ ;  $V = 84$  м/мин; зазор между полюсниками и деталью  $\delta = 1$  мм; магнитная индукция  $B = 1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_o = 5$  м/мин.

4.6. Выбрать из двух методов (электро-контактный после предварительного шлифования, магнитно-абразивный) наиболее производительный метод упрочнения стали 45 (HRCэ 48),  $D = 100$  мм,  $l = 150$  мм, с целью получения параметра шероховатости  $R_a = 0.36$  мкм при исходном его значении  $R_a = 1.6$  мкм.

Условия упрочнения:

-электро-контактное упрочнение производится роликом  $r = 1.5$  мм, с задним углом вдавливания ролика  $\varphi_a = 20$ , при режимах: сила тока  $I = 500$  А, усилие  $P = 800$  Н,  $V_{max} = 30$  м/мин;

-магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K = 120$ ;  $V = 84$  м/мин; зазор между полюсниками и деталью  $\delta = 1$  мм; магнитная индукция  $B = 1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_o = 5$  м/мин.

4.7. Выбрать для электро-контактного упрочнения валов из стали 45 метод предварительной обработки (точение  $R_a = 1.6$  мкм или шлифование  $R_a = 1.6$  мкм), обеспечивающий меньшую величину параметра шероховатости  $R_a$  после электро-контактного упрочнения.

Условия упрочнения:

профильный радиус рабочего ролика  $r = 1.5$  мм, задний угол вдавливания ролика  $= 20^\circ$ , сила тока  $I = 500$  А, усилие  $P = 800$  Н,  $V = 30$  м/мин,  $S = 0.15$  мм/об.

4.8. Выбрать для электро-контактного упрочнения валов из стали 45 метод предварительной обработки (точение  $Ra = 1.6$  мкм или шлифование  $Ra = 1.6$ ), позволяющий получить более несущую способность шероховатости после электро-контактного упрочнения.

Условия упрочнения:

профильный радиус рабочего ролика  $r = 1.5$  мм, задний угол вдавливания ролика  $= 20^\circ$ , сила тока  $I = 500$  А, усилие  $P = 800$  Н,  $V = 30$  м/мин,  $S = 0.15$  мм/об.

4.9. Выбрать метод упрочнения (обкатывание или алмазное выглаживание), позволяющий с меньшим усилием воздействовать на поверхность вала из стали средней твердости ( $HB = 415$ ,  $HV = 435$ ),  $D = 63$  мм,  $l = 200$  мм получить величину параметра шероховатости  $Ra < 0.8$  мкм. Исходное значение  $Ra = 1.6$  мкм.

Условия упрочнения:

-обкатывание производится роликом  $D_p = 50$  мм с профильным радиусом  $R_{pr} = 5$  мм;  
 -алмазное выглаживание производится алмазным наконечником с радиусом сферы алмаза 2.5 мм.

4.10. Выбрать метод упрочнения (накатывание торцевой головкой или вибронакатывание), позволяющий получить большую величину микротвердости  $H_{\mu}$  поверхностного слоя плоской детали из стали 40X (HRCэ 30-32) при приложении удельной нагрузки  $P = 300$  МПа. Исходная шероховатость  $Ra = 1.2$  мкм.

Условия упрочнения:

- накатывание осуществляется за один проход при окружной скорости шариковой головки  $V = 30$  м/мин и продольной подачи  $S_{pr} = 42$  мм/мин;

-вибронакатывание осуществляется за один проход при продольной подачи  $S_{pr} = 180$  мм/мин.

4.11. Выбрать из двух методов (накатывание торцевой головкой или вибронакатывание) метод упрочнения плоской поверхности детали из стали 40X (HRC 30-32), позволяющий получить более высокую несущую способность шероховатости при приложении удельной нагрузки 300 МПа. Исходное значение высоты сглаживания шероховатости  $R_p = 0.3$  мкм.

Условия упрочнения:

-накатывание осуществляется за один проход при окружной скорости шариковой головки  $V = 30$  м/мин и продольной подачи  $S_{pr} = 42$  мм/мин;

-вибронакатывание осуществляется за один проход при продольной подачи  $S_{pr} = 180$  мм/мин.

4.12. Выбрать из двух методов (накатывание торцевой головкой, вибронакатывание) наиболее производительный метод упрочнения плоской поверхности ( $L = 400$  мм,  $B = 100$  мм) детали из СЧ21, с целью получения параметра шероховатости  $Ra = 0.3$  мкм при исходном его значении  $Ra = 1.3$  мкм.

Условия упрочнения:

-накатывание осуществляется за один проход при окружной скорости шариковой головки  $V_0 = 30$  м/мин и удельной нагрузке  $P = 300$  МПа.

4.13. Выбрать из двух методов (алмазное точение, магнитно-абразивная обработка) метод обработки роликов из стали 45 (HRCэ 48),  $D = 100$  мм,  $L = 150$  мм, позволяющий получить минимальную величину параметра шероховатости  $Ra = 1.5$  мкм.

Условия обработки:

-алмазное точение производится резцами оснащенными эльбором  $P$  с радиусом при вершине  $r = 1.5$  мм и передним углом  $\gamma = 0^\circ$ , при режимах:  $S = 0.1$  мм/об,  $V = 150$  м/мин;

-магнитно-абразивная обработка производится на установке ФАС-3 при режимах: зернистость порошка  $K = 120$ ;  $V = 84$  м/мин; зазор между полюсниками и деталью  $= 1$  мм; маг-

нитная индукция  $B=1.0$  Тл; скорость осцилляции  $V_0 = 5$  м/мин; время обработки  $T=10$  мин.

4.14. Выбрать доминирующие фазовые состояния материала, переносимого с анода на катод при электро-эрозионном упрочнении.

Условия протекания процесса:

ток короткого замыкания  $I_{кз} = 20$  А, энергия импульса  $E=0.15$  Дж,  $f = 50$  Гц, критерий механической нагрузки  $R = 0.8$ .

1	2	3
Паровая фаза	Жидкая фаза	Твердая фаза

4.15. Выбрать доминирующие фазовые состояния материала, переносимого с анода на катод при электро-эрозионном упрочнении.

Условия протекания процесса:

ток короткого замыкания  $I_{кз} = 15$  А, энергия импульса  $E=0.12$  Дж,  $f = 50$  Гц, критерий механической нагрузки  $R = 0.1$ .

1	2	3
Паровая фаза	Жидкая фаза	Твердая фаза

4.16. Выбрать доминирующие фазовые состояния материала, переносимого с анода на катод при электро-эрозионном упрочнении.

Условия протекания процесса:

ток короткого замыкания  $I_{кз} = 20$  А, энергия импульса  $E=0.15$  Дж,  $f = 50$  Гц, критерий механической нагрузки  $R=0.2$ .

1	2	3
Паровая фаза	Жидкая фаза	Твердая фаза

4.17. Выбрать схему лазерного упрочнения с импульсным излучением при использовании сферической оптики для получения на плоской поверхности детали площадью 2400 мм зоны термического воздействия площадью 2280 мм (см. Рис.).

Условия упрочнения:

-число импульсов излучения 6000;

-диаметр зоны воздействия лазерного луча 0.8мм.

4.18. Выбрать схему лазерного упрочнения с импульсным излучением при использовании сферической оптики для получения на плоской поверхности детали площадью 2500 мм зоны термического воздействия площадью 2400 мм (см. рис. 1).

Условия упрочнения:

-число импульсов излучения 2596;

-диаметр зоны воздействия лазерного луча 1.6 мм.

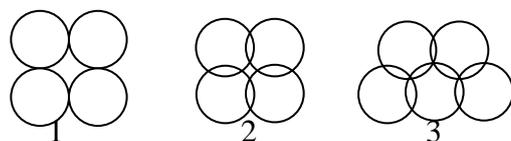


Рис.1.

4.19. Выбрать схему лазерного упрочнения с импульсным излучением при использовании сферической оптики для получения на плоской поверхности детали площадью 2100 мм зоны термического воздействия площадью 1680 мм (см. Рис.).

Условия упрочнения:

-число импульсов излучения 3343;

-диаметр зоны воздействия лазерного луча 0.8 мм.

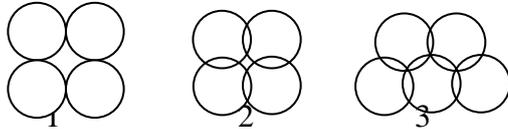


Рис.1.

4.20. Выбрать соотношения, при которых происходит перенос материала с анода на катод при электро-эрозионном упрочнении:

1	2	3
$\lambda_a = 5\lambda_k$	$\lambda_a = 5\lambda_k$	$\lambda_a = 5\lambda_k$
$T_{нл} = 3T_{нл}$	$T_{нл} = 3T_{нл}$	$T_{нл} = 3T_{нл}$

4.21. Рассчитать оптимальную высоту деформирующего элемента калибрующего инструмента

$$L_{onm} = K_L \left( \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{8V R_K W}{\pi(R_K^2 - r_K^2)}} \right), \quad (6)$$

где  $R_K$  - наружный радиус деформирующего элемента, мм;  $r_K$  - внутренний радиус деформирующего элемента, мм;  $V$  - отношение предела прочности твердого сплава при изгибе к пределу прочности при сжатии; для сплава BK15  $V=0,516$ ;  $W$  - момент сопротивления изгибу деформирующего элемента в сечении, перпендикулярном его оси, мм<sup>2</sup>;

$$W = \pi \frac{9(R_K^4 - r_K^4)(R_K^2 - r_K^2) - 8(R_K^3 - r_K^3)^2}{12(R_K^3 - r_K^3) - 18(R_K^2 - r_K^2)r_K}. \quad (7)$$

Минимальную высоту деформирующего элемента рассчитывают по формуле:

$$L_{КД} = \frac{i}{2\text{tg}\varphi} + b + 2(b_{фас} + c), \quad (8)$$

где  $b$  - ширина цилиндрической ленточки, мм;  $\varphi$  - угол рабочего конуса;  $c$  - длина нерабочего участка рабочего конуса, равная длине обратного конуса;  $b_{фас}$  - ширина фаски, мм.

4.22 Рассчитать оптимальное усилие протягивания дорна

$$Q = \left[ \frac{t_k f^{0,43} [\sigma_{из}]^{0,75} d_{ин}^{0,36}}{0,329 K_L^{0,71} 0,938^l} \right]^{1/0,735},$$

где  $Q$  - сила протягивания, Н;  $K_L$  - коэффициент высоты деформирующего инструмента (отношение фактической высоты  $L_{фак}$  к оптимальной  $L_{onm}$ ) (см. [1], стр. 400, табл. 11);  $l$  - ширина контакта деформирующего инструмента с обрабатываемой поверхностью, мм, зависящая от диаметра деформирующего элемента, натяга и толщины стенки обрабатыва-

емой детали (см. [1], стр. 400, табл. 12);  $f$  - коэффициент трения между элементом и обрабатываемой поверхностью; в зависимости от обрабатываемого материала и технологической смазки  $f = 0,05 \dots 0,14$ ;  $d_{ун}$  - диаметр деформирующего элемента, мм;  $t_k$  - толщина стенки деформирующего элемента;  $[\sigma_{из}]$  - допустимое напряжение твердого сплава при изгибе, МПа;

$$[\sigma_{из}] = \sigma_{в.из} \frac{K_{nc}}{K_{zn}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{в.из}$  - предел прочности при изгибе для твердого сплава;

$$\sigma_{в.из} = 4,62 d_{ун}^{-0,36} t_k^{-0,45} \sigma_{в.из.ст}, \quad (3)$$

здесь  $\sigma_{в.из.ст}$  - предел прочности твердого сплава при изгибе (для ВК15  $\sigma_{в.из.ст} = 1800$  МПа);  $K_{zn}$  - коэффициент запаса прочности (см. [1], стр. 400, табл. 11);  $K_{nc}$  - коэффициент посадки деформирующего элемента на стержень протяжки;

$$K_{nc} = 1,1 d_{ун}^{-0,36} t_k^{-0,42} e^y K_{\phi}, \quad (4)$$

где  $K_{\phi}$  - коэффициент формы деформирующего элемента;  $K_{\phi} = 1$  при цилиндрическом отверстии в деформирующем элементе и  $K_{\phi} = 1,2$  при отверстии с конусом и посадки с натягом.  $K_{nc}$  не может быть меньше единицы, поэтому, если по формуле  $K_{nc} < 1$ , то для дальнейших расчетов  $K_{nc} = 1$ ;  $e$  - основание натурального логарифма.

$$y = \frac{310 \delta^{1,1}}{d_k}, \quad (5)$$

$\delta$  - величина зазора или натяга, мм, при посадке деформирующего элемента на стержень дорна. В случае зазора показатель степени  $y$  величен  $e$  берется со знаком минус, в случае натяга - со знаком плюс.

Если по формуле (3)  $\sigma_{в.из} < 800$  МПа или  $\sigma_{в.из} > 2000$  МПа, то в расчетах принимают  $\sigma_{в.из} = 800$  или  $2000$  МПа.

4.23. Определить глубину пластического внедрения  $h$  выглаживателя в обрабатываемую поверхность :

$$h = k_2 \frac{1 - \psi}{\psi} \sqrt{\frac{P^2 (1 - \mu^2)^2}{(RE^2)}},$$

где  $k_2$  - коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал.

Обрабатываемый материал	$k_2$
Закаленные стали, HV 513-580	0,34
Незакаленные стали, HV 200-240	0,54
Алюминиевые сплавы	0,54

$$\psi = \frac{3,1HV L}{\left( PE^{2/3} + 2,32HV L \right)} \quad \text{- соотношение упругой и полной деформации,}$$

$$L = \left[ (1 - \mu^2) P R \right]^{2/3} \quad \text{- } E \text{ - модуль упругости.}$$

4.24. Провести подготовку образцов к гальваническим покрытиям по следующей методике.

Материал – углеродистая сталь.

1. Электрохимическое обезжиривание:  
электролит – 10 % КОН,  $t=50\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau=20\text{ мин.}$ , катод – свинец, анод – деталь,  $i_a=2\text{ А/дм}^2$ .
  2. Промывка проточной водой в течение 1 минуты.
  3. Химическое травление составом:  
HCl концентрированная 150-350 г/л,  $\tau=30\text{ мин.}$   
Уротропин 40-50 г/л,  $t^\circ=60-65\text{ }^\circ\text{C}$ .
  4. Промывка водой в течение 1 минуты.
  5. Осветление раствором состава:  
HNO<sub>3</sub> 70-80 г/л,  $t^\circ=15-30\text{ }^\circ\text{C}$   
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 80-100 г/л,  $\tau=0,5-1,0\text{ мин.}$
  6. Промывка водой в течение 1 минуты.
  7. Нейтрализация раствором соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 100 г/л  
 $t^\circ$  – комнатная  
 $\tau=3-5\text{ мин.}$
  8. Промывка проточной водой и затем дистиллированной водой.
- 4.25.

## 5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

### Задание 4.1.

Преобразовав уравнение [(4.38) 3], получим зависимость для определения подачи, ограниченной параметром шероховатости обрабатываемой поверхности  $Ra$ :

$$S = 22,13 \frac{Ra^{1,69} r^{0,49} v^{0,32}}{k_0^{1,69} (90 + \gamma)^{1,12}}. \quad (1)$$

Подставляя исходные данные в уравнение (1), получим

$$S = 22,13 \frac{0,3^{1,69} 1,5^{0,49} \left( \frac{\pi 100n}{1000} \right)^{0,32}}{(90 + 0)^{1,12}} = 0,017n^{0,32}$$

Максимальная производительность обеспечения при наибольшей допустимой подаче, которая возрастает с увеличением скорости обработки, поэтому для максимальной скорости, определенной стойкостью инструмента [4],  $v = 150 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$  получим

$$n_{\max} = \frac{1000v}{\pi D} = 477 \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \text{ Скорректировав это значение с паспортными данными}$$

станка  $n_{ст} = 400 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $S = 0,115 \sim 0,12 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Машинное время обработке при алмазном точении

$$T = \frac{L + l_1 + l_2}{S n} = \frac{150 + 5 + 5}{0,12 \cdot 400} = 3,3 \text{ мин.}$$

Для магнито-абразивной обработки время можно определить из уравнения [(4.56)

3]

$$T = \sqrt{\frac{0,58 Ra_{исх}^{0,55} k^{0,15} \delta^{0,3}}{Ra B^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,26}}}.$$

Подставив исходные данные, получим

$$T = 0,52 \sqrt{\frac{0,58 Ra_{\text{исх}}^{0,55} k^{0,15} \delta^{0,3}}{Ra B^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,26}}} = 4,5 \text{ мин.}$$

Результаты расчета показывают, что наиболее производительным методом обработки по машинному времени является алмазное точение.

#### Задание 4.2.

Известно, что несущая способность шероховатости при неизменной их высоте  $R_{\text{max}}$  ( $R_z$ ) и величине  $R_a$  тем больше, чем меньше высота сглаживания  $R_p$  - расстояние от линии выступов до средней линии. При одинаковых  $R_p$  и  $R_{\text{max}}$  ( $R_z$ ) несущая способность шероховатости тем выше, чем больше ( $R_a$ ).

Преобразовав уравнение [(4.39) 3], получим зависимость для определения высота сглаживания  $R_p$  при алмазном точении:

$$R_p = k_0 \frac{S^{k_1} (90 + \gamma)^{k_4}}{r^{k_2} v^{k_3}} = 0,82 \frac{0,1^{0,59} (90 + 0)^{0,52}}{1,5^{0,33} \cdot 150^{0,18}} = 0,75 \text{ мкм.}$$

Преобразовав уравнение [(4.57) 3], получим зависимость для определения высота сглаживания  $R_p$  при алмазном точении:

$$Ra = 1,08 \frac{Ra_{\text{исх}} k^{0,23} \delta^{0,05}}{T^{0,39} B^{0,05} v^{0,21} v_0^{0,13}} = 1,08 \frac{1,5 \cdot 120^{0,23} 1^{0,3}}{10^{0,39} 1^{0,05} 84^{0,21} 5^{0,13}} = 0,63 \text{ мкм}$$

Результаты расчета показывают, что более высокая несущая способность шероховатости после магнито-абразивной обработки.

#### Задание 4.3.

Используя рекомендации из [4] выбираем следующие формулы для расчета подачи при обкатывания:

$$S = K_1 K_2 K_3 S_1, S_1 = 0,3 \cdot b.$$

Подставив исходные данные, получим

$$S = 0,4 \cdot 0,24 \cdot 0,5 \cdot 0,45 = 0,0216 \text{ мм/об.}$$

Выбираем по [4],  $v = 150 \text{ м/мин}$  получим  $n_{\text{max}} = \frac{1000v}{\pi D} = 955,4 \text{ об/мин.}$

Скорректировав эти значения с паспортными данными станка получим  $n_{\text{ст}} = 1000 \text{ об/мин}$ ,  $S = 0,02 \text{ мм/об.}$

Машинное время обработке при обкатывании

$$T_{\text{об}} = \frac{L + l_1 + l_2}{S \cdot n} = \frac{250 + 5 + 5}{0,02 \cdot 1000} = 12 \text{ мин}$$

Машинное время при магнитно-абразивной обработке

$$T = 0,52 \sqrt{\frac{0,58 Ra_{\text{исх}}^{0,55} k^{0,15} \delta^{0,3}}{Ra B^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,26}}} = 0,52 \sqrt{\frac{0,58 \cdot 1,5^{0,55} 120^{0,15} 1^{0,3}}{0,3 \cdot 1^{0,05} 84^{0,08} 5^{0,26}}} = 6,2 \text{ мин}$$

Результаты расчета показывают, что наиболее производительным по машинному времени является метод магнито-абразивной обработки.

## 5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

### 5.1 Основная литература

1. Федоров Б. М., Мисюров А. И., Смирнова Н. А. Технология обработки материалов концентрированными потоками энергии : метод. указания к лабораторным работам по курсу "Технология машиностроительного производства" : в 2 ч. / Федоров Б. М., Мисюров А. И., Смирнова Н. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 Ч. 2 : Технология и оборудование микроплазменной обработки. - 2011. - 22 с. : ил. - Библиогр.: с. 22.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием - М.: Машиностроение, 2001. - 328с.
3. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин./ А.М. Сулима, В.А. Шувалов, Ю.Д. Ягодкин / - М.: Машиностроение, 2001. - 240с.
4. Коваленко В.С. и др. Лазерное и электроискровое упрочнение материалов. - М.: Наука, 1986. - 276с.
5. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Учебное пособие для вузов. - М.: Металлургия, 2002. - 432с.
6. Любимов В.В., Волгин В.М., Гнидина И.В., Иванов А.В. Технология физико-химических методов обработки: Учебное пособие. – Тула: ТулГУ, 2004. – 254 с.
7. Технологические процессы механической и физико-технической обработки в авиадвигателестроении. / Под ред. В.Ф.Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2001. – 290 с.
8. Технология конструкционных материалов. (Технологические процессы в машиностроении): учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов в 4 ч. Ч.4. Обработка заготовок/ В.В.Любимов, Ю.Н.Федоров, А.С.Ямников и др., под общей ред. Э.М.Соколова, С.А.Васина, Г.Г.Дубенского. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 600 с.: ил.
- 9 Гнидина И.В. Теоретические основы обработки концентрированными потоками энергии: Учебное пособие. – Тула: ТулГУ, 2005. – 122 с
10. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. ; ред. Григорьянц А. Г. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 663 с. : ил. - Библиогр.: с. 662-663. - ISBN 5-7038-2701-9.
11. Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Чжан Цин Формирование наплавленных слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения / Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Чжан Цин // Сварочное производство. - 2007. - № 8. - С. 18-21.
12. Федоров Б. М., Мисюров А. И., Смирнова Н. А. Технология обработки материалов концентрированными потоками энергии : метод. указания к лабораторным работам по курсу "Технология машиностроительного производства" : в 2 ч. / Федоров Б. М., Мисюров А. И., Смирнова Н. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
13. Технологические особенности обработки хрупких диэлектриков лазерным излучением в диапазоне длин волн от 0. 51 до 10. 6 мкм / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Малов И. Е., Мисюров А. И. // Технология машиностроения. - 2010. - № 4. - С. 51-56.

### 5.2. Дополнительная

- 1 Торбило В.М. Алмазное выглаживание. - М.: Машиностроение, 1972. - 105с.
2. Белоцкий А.В. и др. Ультразвуковое упрочнение металлов. - Киев: Техніка, 1989. - 168с.
3. Ершов А.А., Никифоров А.В., Серебряков В.И. Технологические возможности и перспективы применения различных методов упрочнения деталей машин. - М.: ВНИТЭМР, 1985. - 48с.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. - М.: Машиностроение, 1982. - 248с.

5. Справочник по технологии лазерной обработки/ В.С. Коваленко В.П. Котляров, В.П. Дятел и др. Под общ. ред. В.С. Коваленко. - Киев: Техніка, 1985. - 165с.
6. Григорянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1989. - 304с.
7. Кумабе Д. Вибрационное резание.: Пер. с японского С.Л. Масленниковой/ Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. - М.: Машиностроение, 19985. - 424с.
8. Елизаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. - М.: Машиностроение, 1969. - 400с.
9. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов. Справочник. - М.: Машиностроение, 1986. - 320с.
10. Повышение долговечности машин технологическими методами/ В.С. Корсаков, Г.Э. Таурит, Г.Д. Василюк и др. К.: Техніка, 1986. - 158с.

### 5.3 Периодические издания

1. Технология машиностроения: обзорно-аналитический, научно-технический и производственный журнал . - М.: Издат. центр "Технология машиностроения", 2007 -2011 . - ISSN 1562-322X.
2. Станки и инструмент: научно-технический журнал. - М.: ООО СТИН, 1995 - 2011. - Издаётся с 1993 г. - ISSN 0869-7566.
3. Вестник машиностроения: научно-технический и производственный журнал/ АО "Компания "Росстанкоинструмент". - М.: Машиностроение, 1958 - 2011.- ISSN 0042-4633.
4. Справочник. Инженерный журнал = Handbook. An engineering journal: научно-технический и производственный журнал/Международный союз машиностроителей . - М., 2007 - 2010. - ISSN 0203-347X.

### 5.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Сайт журнала «Физика металлов и металловедение» - <http://www.maik.ru>.
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>.
3. Сайт журнала «Современные наукоемкие технологии» - <http://www.rae.ru/snt>.
4. Сайт журнала «Физика и химия обработки материалов» - <http://www.imet.ac.ru/>
5. Справочник. Инженерный журнал с приложением - <http://www.mashin.ru>.
6. Сборник ПО для выполнения практических занятий по дисциплине «Теоретические основы обработки КПЭ», разработанного на кафедре ЭиНТ.

### 5.5. Методические указания к практическим занятиям

Коробочкин А.И. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Специальные упрочняющие технологии».- Тула, ТулГУ, 2011 (ресурс кафедры)