

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ВТУЛОК ИЗ ВЫСОКОТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА «РЕЛИТ», ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМУЮ ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

© 2019 В.И. Свирщёв, А.В. Трубицын, С.В. Тарасов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Статья поступила в редакцию 06.12.2018

Отсутствие в настоящее время нормативной базы данных по назначению управляемых параметров режима бесцентрового наружного шлифования новых труднообрабатываемых порошковых конструкционных материалов, к которым относится двухкомпонентный материал «Релит», не позволяет обоснованно назначать сочетание параметров режима бесцентрового шлифования, которое бы обеспечивало требуемые показатели качества по шероховатости поверхности. На основе разработанной оптимизационной модели, включающей технические ограничения по диапазонам изменения управляемых параметров режима бесцентрового шлифования и требуемой шероховатости шлифуемой поверхности, дополненные принятым критерием оптимизации – максимальной производительности, установлены полигоны решения системы уравнений оптимизационной модели. На основании их разработаны карты качества по параметру Ra шероховатости поверхности, которые являются нормативными руководящими материалами для технологов по выбору сочетания управляемых параметров режима при проектировании операций бесцентрового шлифования.

Ключевые слова: втулки из высокопрочного материала «Релит», шероховатость поверхности, бесцентровое наружное шлифование, оптимизационная модель, карты качества по параметру Ra шероховатости поверхности.

Повышение надежности и долговечности продукции современных отраслей машиностроения достигается за счет применения новых конструкционных материалов и улучшения показателей качества основных функциональных поверхностей элементов изделий. Изготовление деталей из новых композиционных порошковых материалов приводит к возрастанию эксплуатационных характеристик изделий и трудоемкости изготовления их элементов. В полной мере это актуально для производств, выпускающих нефтедобывающее оборудование погружного типа. Для повышения надежности элементов погружных насосов их изготавливают из износостойких и коррозионностойких труднообрабатываемых материалов. Специфическая структура и низкая обрабатываемость деталей из этих материалов влияет на трудоемкость процессов обработки, выбор технологических условий при обработке втулок подшипников скольжения насосов, выполненных из материала «Релит».

Заготовки втулок подшипников скольжения центробежно-вихревого насоса из материала

«Релит» получают методом порошковой металлургии, включающих операции прессования релитовой смеси и последующего спекания. Обработка таких заготовок обусловлена значительными трудностями, так как основой материала «Релит» является порошковый карбид вольфрама (W_2C), который относится к группе труднообрабатываемых материалов.

Релитовый слой представляет собой равномерно распределённые в медной связке зёрна карбида вольфрама W_2C высокой микротвёрдости $H_{V1} = 12,2 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ [1], при твёрдости медной связки $H_{V2} = 1,0 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ [1] (рисунок 1).

Приведенные данные, по твердости карбида вольфрама позволяют отнести материал «Релит» к труднообрабатываемым, что предусматривает специфический выбор характеристики абразивного инструмента и параметров режима бесцентрового наружного шлифования.

При бесцентровом шлифовании заготовок рекомендуется применять карбидокремниевые шлифовальные круги, которыми обеспечивается требуемая точность наружного диаметра втулки, но возникают проблемы обеспечения требуемой шероховатости её поверхности. На шлифованной поверхности втулки отмечается наличие хаотически расположенных грубых рисок и выбоин от вырванных силами резания отдельных зерен или блоков зерен, с рабочей поверхности шлифовального круга. Вышеперечисленное приводит к нестабильности процесса шлифования, ускорению износа абразивного круга, к сбоям в процес-

Свирщёв Валентин Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ИТМ.

E-mail: svirshhev_valentin@mail.ru

Трубицын Антон Владимирович, кандидат технических наук, начальник производства ООО «Гидробур-сервис».

E-mail: atrubitsyn@mail.ru

Тарасов Степан Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры ИТМ.

E-mail: tms2@pstu.ru, tarasovsv100@mail.ru

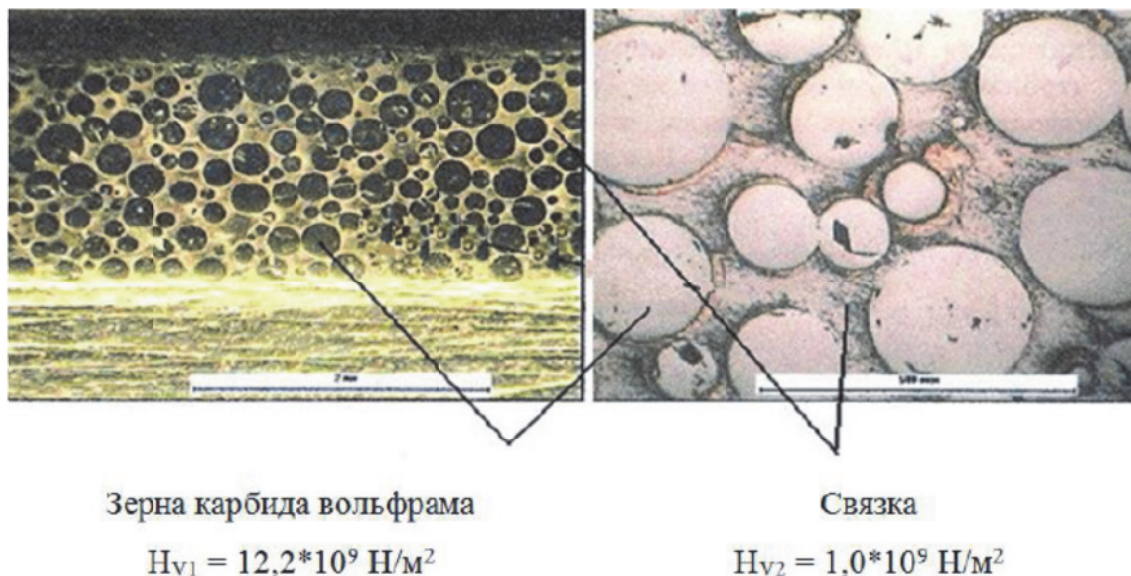


Рис. 1. Структура релитового слоя

се шлифования, появлению брака, увеличению трудоемкости обработки.

Обеспечение стабилизации выходных параметров процесса бесцентрового шлифования, требуемых производительности и качества обработки, являются важнейшей задачей.

В настоящее время отсутствуют рекомендации по технологическим условиям обработки для обеспечения требуемой шероховатости поверхности при бесцентровом шлифовании заготовок из материала «Релит», что не позволяет назначать максимальные параметры режима шлифования при обеспечении требуемого качества по шероховатости обработанной поверхности.

В связи с этим актуальны исследования по определению оптимальных параметров режима бесцентрового шлифования, обеспечивающих требуемые показатели качества обрабатываемых деталей с максимальной эффективностью обработки.

Успех реализации этих требований тесно связан с применением знаний по оптимизации принимаемых проектных решений. Наиболее распространенным в настоящее время методом оптимизации является метод итеративного построения решения, который позволяет учесть действующие при шлифовании ограничения, осуществить оптимизацию управляемых параметров режима бесцентрового шлифования и их сочетаний по критерию максимальной эффективности.

Построим оптимизационную математическую модель включающую совокупность принятых технических ограничений, дополненную принятым критерием оптимальности – минимальное штучное время обработки (максимальная производительность).

Производительность операции находится из выражения:

$$P = \frac{1}{t_{ум.п}},$$

где $t_{ум.п}$ – штучное время обработки, зависящее от управляемых параметров режима бесцентрового шлифования.

$$t_{ум.п} = t_m + t_{np}, \quad t_m = \frac{l + B_k}{V_{np}} \cdot 10^3, \quad t_{np} = \frac{T_{np}}{T} \cdot t_m,$$

где t_m – машинное время, мин; t_{np} – время правки шлифовального круга, приведенное к одной детали, мин; l – осевой размер детали, мм; B_k – высота шлифовального круга, мм; V_{np} – скорость продольной подачи детали, мм/мин; T_{np} – время правки шлифовального круга, мин; T – период стойкости круга, мин.

Критерий оптимизации F для бесцентрового шлифования втулок будет иметь вид [2, 3]:

$$F(V_{np}) = t_{ум.п} = \frac{l + B_k}{V_{np}} \cdot 10^3 \left(1 + \frac{T_{np}}{T} \right). \quad (1)$$

Тогда задача оптимизации параметров режима бесцентрового шлифования может быть представлена как минимизация целевой функции ($F(V_{np}) \rightarrow \min$), в которую управляемый параметр режима шлифования V_{np} входит в явном виде. Анализ выражения (1) показывает, что целевая функция $F(V_{np})$ принимает минимальные значения при максимальном значении V_{np} .

При бесцентровом шлифовании втулок из материала «Релит» примем следующие ограничения: на диапазоны изменения параметров режима шлифования при обработке поверхности, по максимально допустимой глубине обработки $[t_{max}]$, по максимально допустимой шероховатости шлифуемой поверхности $Ra_{дон}$, которые представляются в виде системы нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} V_{D \min} \leq V_D \leq V_{D \max} \\ V_{np \min} \leq V_{np} \leq V_{np \max} \\ t_{\min} \leq t \leq [t_{\max}] \\ Ra(V_D, V_{np}, t) \leq Ra_{don} \end{cases}$$

где $V_{D \min}$, $V_{D \max}$, $V_{np \min}$, $V_{np \max}$, t_{\min} , $[t_{\max}]$ – предельные величины скорости, подачи и глубины шлифования, ограничивающиеся техническими параметрами оборудования и инструмента.

Ранее выполненные исследования [4, 5] позволили получить аналитическую зависимость для расчета предельно допустимой глубины шлифования $[t_{\max}]$ и эмпирическую математическую модель для расчета параметра Ra шероховатости поверхности в следующем виде:

$$[t_{\max}] = \bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - \left[\frac{H_{v1} \bar{R} - \frac{1}{[P_{z1}]} \cdot \frac{0,185 H_{v1} H_{v2} \bar{R} K_{\delta} K_{\delta} d_a^{2,5} \psi(\zeta, \eta, \gamma) V_k V_D \sqrt{d+D}}{(V_k + V_D)^2 + V_{np}^2}}{2(H_{v1} - H_{v2})} \right]^2} \quad (2)$$

где \bar{r} – средний статистический радиус зерна карбида вольфрама; \bar{R} – среднее статистическое расстояние между центрами зерен карбидов вольфрама; H_{v1} – микротвердость карбидов вольфрама, H_{v2} – микротвердость меди; $[P_{z1}]$ – допускаемая сила удержания режущих зёрен связкой абразивного инструмента (по данным [6] $[P_{z1}]$ карбидокремниевых зёрен для кругов на керамической связке в зависимости от размера зерна и твердости круга находится в диапазоне 1...5 Н); K_{δ} – параметр, зависящий от объемного строения стан-

дартного шлифовального инструмента и условий правки его режущей поверхности, $K_{\delta} = K_n * K_{cx} * K_{np}$, K_n – коэффициент пористости режущего круга, K_{cx} – коэффициент структуры шлифовального круга, K_{np} – коэффициент правки режущей поверхности круга; K_{θ} – коэффициент формы вершины зерна; d_a – характерный размер шлифовального зерна;

$$\psi(\zeta, \eta, \gamma) = \frac{\zeta^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \sin \gamma + 1}{\zeta \cdot \cos \gamma} \cdot \frac{\zeta \cdot \cos(\eta + \gamma)}{\zeta \cdot \cos(\eta + \gamma) - \sin(\eta)}$$

ζ – усадка стружки детали, η – угол трения скольжения стружки, γ – передний угол единичного резца абразивного инструмента; d , D – диаметры соответственно обрабатываемой детали и шлифовального круга; V_k – скорость абразивного резания; V_D – скорость вращения детали, V_{np} – продольная скорость подачи детали.

$$Ra = 2,42 \cdot V_D^{(0,053 - 0,397 \ln V_{np})} \cdot V_{np}^{1,967} \cdot t^{(1,714 - 0,307 \ln V_D)} \quad (3)$$

где t – глубина шлифования.

Технические ограничения на управляемые характеристики режима обработки V_D , V_{np} задаются диапазонами их изменения по технической характеристике бесцентрового шлифовального станка, ограничение по максимально допустимой глубине шлифования $[t_{\max}]$ находится из уравнения (2), а ограничение по шероховатости поверхности принимается не более 1,25 мкм в соответствии с требованиями конструкторской документации втулки.

С учетом формул (1-3) оптимизационная математическая модель примет вид

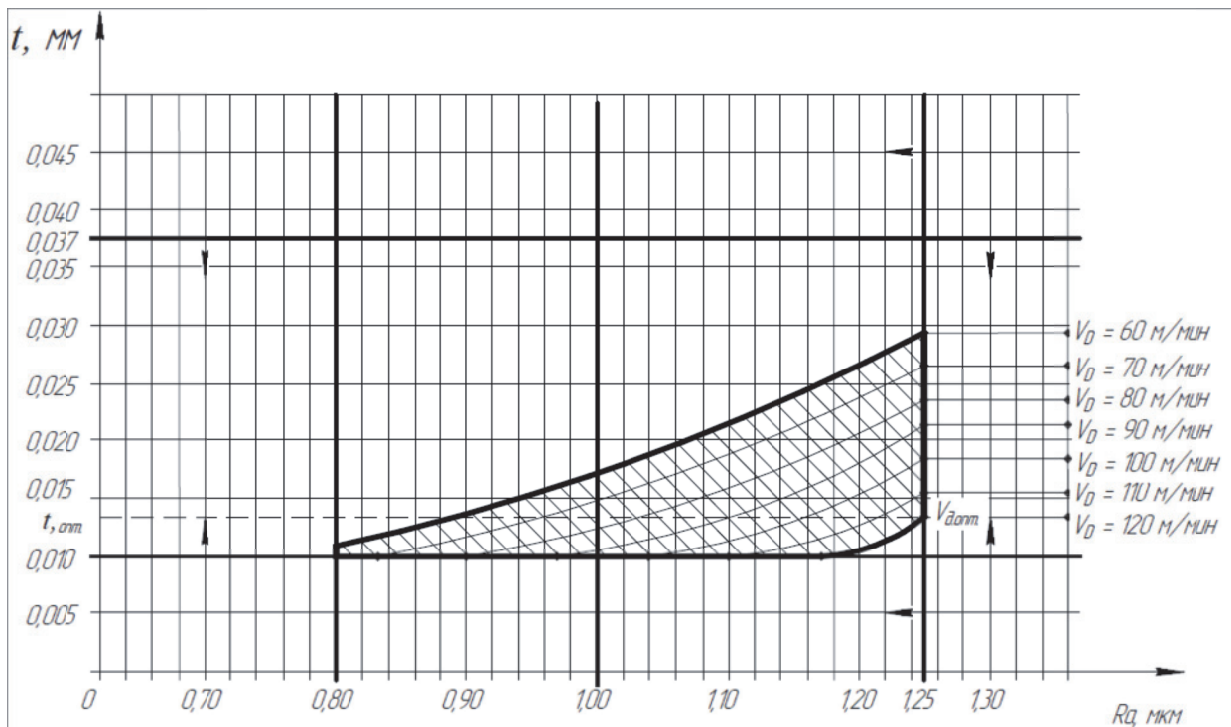


Рис. 2. Полигон решения системы уравнений оптимизационной модели при скорости продольной подачи $V_{np} = 8,4$ м/мин

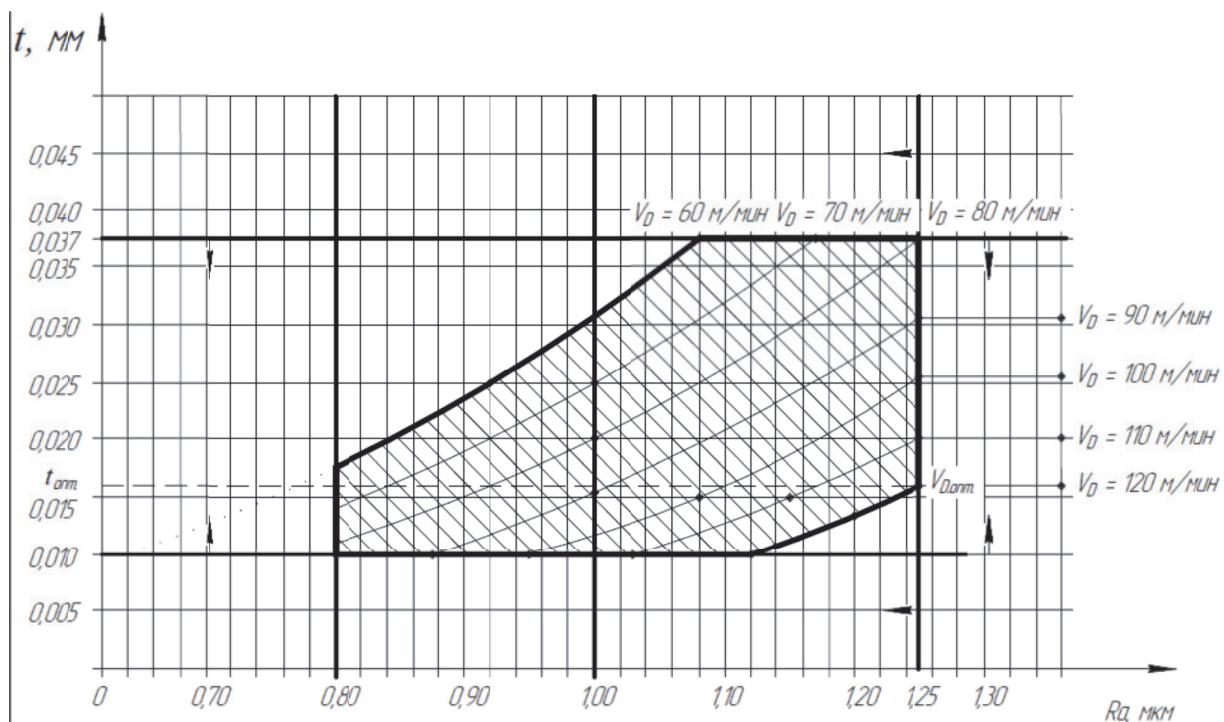


Рис. 3. Полигон решения системы уравнений оптимизационной модели при скорости продольной подачи $V_{np} = 4,2$ м/мин

$t, \text{мм}$ \ $V_D, \text{м/мин}$	60	65	70	75	80	85	90	95
0,010								
0,015								
0,020								
					$0,8 \leq Ra \leq 1,0$			

Рис. 4. Диапазон обеспечения параметра Ra шероховатости поверхности при бесцентровом шлифовании втулок из материала «Релит» шлифовальным кругом 1 500x150x305 54CF46N7V при скорости продольной подачи $V_{np} = 8,4$ м/мин

$t, \text{мм}$ \ $V_D, \text{м/мин}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
0,010													
0,015													
0,020													
0,025													
										$1,0 \leq Ra \leq 1,25$			

Рис. 5. Диапазон обеспечения параметра Ra шероховатости поверхности при бесцентровом шлифовании втулок из материала «Релит» шлифовальным кругом 1 500x150x305 54CF46N7V при скорости продольной подачи $V_{np} = 8,4$ м/мин

$t, \text{мм}$ \ $V_D, \text{м/мин}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0,010										
0,015										
0,020										
0,025										
0,030										
									$0,8 \leq Ra \leq 1,0$	

Рис. 6. Диапазон обеспечения параметра Ra шероховатости поверхности при бесцентровом шлифовании втулок из материала «Релит» шлифовальным кругом 1 500x150x305 54CF46N7V при скорости продольной подачи $V_{np} = 4,2$ м/мин

$t, \text{ мм}$ \ $V_D, \text{ м/мин}$	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
0,010													
0,015													
0,020													
0,025													
0,030													
0,035													
	$1,0 \leq Ra \leq 1,25$												

Рис. 7. Диапазон обеспечения параметра Ra шероховатости поверхности при бесцентровом шлифовании втулок из материала «Релит» шлифовальным кругом 1 500x150x305 54CF46N7V при скорости продольной подачи $V_{np} = 4,2$ м/мин

$$\left\{ \begin{array}{l} 60 \leq V_D \leq 120 \\ 4,2 \leq V_{np} \leq 8,4 \\ 0,01 \leq t \leq \bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - \left[\frac{H_{V1} \bar{R} - \frac{1}{[P_{Zi}]} \frac{0,185 H_{V1} H_{V2} \bar{R} K_{\delta} K_a d_a^{2,5} \psi(\xi, \eta, \gamma) V_K V_D}{(V_K + V_D)^2 + V_{np}^2} \sqrt{\frac{d+D}{dD}}}{2(H_{V1} - H_{V2})} \right]^2} \\ 2,42 \cdot t^{(1,714-0,307 \ln V_D)} \cdot V_D^{(0,053-0,397 \ln V_{np})} \cdot V_{np}^{1,967} \leq 1,25 \end{array} \right.$$

$$F(V_{np}) = \min \left[\frac{l + B_{\kappa}}{V_{np} \cdot 10^3} \left(1 + \frac{T_{np}}{T} \right) \right].$$

Решая приведенную модель на ПК с помощью математического программного обеспечения (Mathcad) получим графические результаты решений в виде уровня допустимых значений сочетаний параметров V_D и t , при постоянном значении V_{np} , приведенные на рисунках 2, 3. Укажем на них точки соответствующие оптимальному сочетанию V_{Donm} и t_{onm} , при которых время обработки принимает минимальное значение.

На основании полигонов решения системы уравнений оптимизационной модели разработаны карты диапазонов обеспечения требуемого параметра Ra шероховатости поверхности, приведенные на рисунках 4-7, которые являются нормативными руководящими материалами для технологов по назначению сочетания параметров режима при проектировании операций бесцентрового шлифования втулок из высокопрочного материала «Релит».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник металлиста в 5 томах. Т.4 [под ред. М.П. Новикова и П.Н. Орлова]. М.: Машиностроение. 1977. 720 с.
2. Миллер Э.Э. Техническое нормирование труда в машиностроении. М.: Машиностроение, 1972. 248 с.
3. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания. Ч.II. М.: Экономика, 1990. 386 с.
4. Трубицын А.В., Свиричев В.И. Методика назначе-

ния глубины шлифования при обработке изделий из высокотвердого двухкомпонентного порошкового материала // ВНТ интернет-конференция «Высокие технологии в машиностроении». СГТУ. Самара, 2014. С 57 – 59.

5. Трубицын А.В., Свиричев В.И. Эмпирическая математическая модель расчета шероховатости поверхности при бесцентровом наружном шлифовании высокотвердого порошкового материала «Релит» // Сб. научных статей IV-ой МНПК «Перспективное развитие науки, техники и технологии», Курск, 2014. с 363 – 365.
6. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 160 с.

REFERENTSES

1. Spravochnik metallista v 5 tomah. T.4 pod red. M. P. Novikova i P. N. Orlova. M.: Mashinostroenie. 1977. 720 p.
2. Miller E.H. E.H. Tekhnicheskoe normirovanie truda v mashinostroenii. M.: Mashinostroenie, 1972. 248 p.
3. Obshchemashinostroitel'nye normativy vremeni i rezhimov rezaniya. CH.II. M.: Ekonomika, 1990. 386 p.
4. Trubicyn A.V., Svirshchev V.I. Metodika naznacheniya glubiny shlifovaniya pri obrabotke izdelij iz vysokotverdogo dvuhkomponentnogo poroshkovogo materiala. VNT internet-konferenciya «Vysokie tekhnologii v mashinostroenii», SGTU, Samara, 2014. pp. 57 – 59.
5. Trubicyn A.V., Svirshchev V.I. E.Hmpiricheskaya matematischeeskaya model' rascheta sheroховatosti poverhnosti pri bescentrovom naruzhnom shlifovanii vysokotverdogo poroshkovogo materiala «Relit». Sb.

nauchnyh statej IV-oj MNPК «Perspektivnoe razvitie nauki, tekhniki i tekhnologii», Kursk, 2014. pp. 363 – 365.

6. Yakimov A. V. Optimizaciya processa shlifovaniya. M.: Mashinostroenie, 1975. 160 p.

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE SURFACE ROUGHNESS OF THE SPIGOTS MADE OF HIGH-HARD MATERIAL “RELIT” BASED ON THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE CENTERLESS GRINDING MODE

© 2019 V.I. Svirshchev, A.V. Trubitsyn, S.V. Tarasov

Perm National Research Polytechnic University

The current lack of a regulatory database on the designation of controlled parameters of the centerless external grinding mode for new hard-to-work powder construction materials, which include Relit, a two-component material, does not allow reasonably designate a combination of centerless grinding mode parameters that would provide the required quality indicators for surface roughness. On the basis of the developed optimization model, including technical limitations on the ranges of variation of the controlled parameters of the centerless grinding mode and the required roughness of the ground surface, supplemented by the adopted optimization criterion - maximum performance, polygons for solving the system of equations of the optimization model were established. On the basis of their developed quality maps on the parameter Ra of surface roughness, which are normative guidance materials for technologists on the choice of a combination of controlled mode parameters in the design of centerless grinding operations.

Keywords: spigots from high-strength material “Relit”, surface roughness, centerless external grinding, optimization model, quality maps by the parameter Ra of surface roughness.

Valentin Svirshchev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the ITM Department.

E-mail: svirshchev_valentin@mail.ru

Anton Trubitsyn, Candidate of Technics, Director of Operations «Gidrobur-Servis». E-mail: atrubitsyn@mail.ru

Stepan Tarasov, Candidate of Technics, Associate Professor at the ITM Department.

E-mail: tms2@pstu.ru, tarasovsv100@mail.ru