

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Скуратов Д.Л., Трусов В.Н., Сидоров С.Ю.

Самарский государственный аэрокосмический университет,  
Самарский завод «Прогресс» ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

По мере развития и совершенствования техники постоянно растут требования к орудиям труда и условиям их эксплуатации, что обусловлено повышением скоростей, температуры, нагрузок, агрессивности среды, уменьшением массы и т.д. Применение традиционных конструкционных материалов уже не позволяет в ряде случаев удовлетворить комплекс этих требований. В связи с этим экономически и технически целесообразно развивать принципиально новый подход к выбору материалов уже на стадии проектирования. Механическая прочность детали гарантируется за счет применения одного материала, а специальные свойства поверхности обеспечиваются сплошным или локальным формированием на ней тонких слоев других материалов – покрытий. Покрытия обеспечивают надежную защиту деталей от износа при контакте трущихся поверхностей, при воздействии абразивных и ударных нагрузок, а также в случае коррозии и температурных влияний, воздействия кислот щелочей и солей. Как правило, эти воздействия проявляются на практике не раздельно, а совместно в различных комбинациях.

Значительное место в общей массе покрытий занимают износостойкие покрытия, которые, кроме того, широко еще используются и в ремонтном производстве.

Существенным недостатком износостойких покрытий является сложность их обработки резанием. Это связано с высокой твердостью и прочностью покрытий, а также с тем, что их теплофизические характеристики, как правило, значительно отличаются от теплофизических характеристик металлов, на которые они наносятся. Эти различия обуславливают резкие градиенты температурных и остаточных напряжений на границе контакта металл-покрытие, что в свою очередь приводит к растрескиванию или отслаиванию последнего от основы и возникновению брака.

Обработку износостойких покрытий в настоящее время осуществляют в основном шлифованием, Однако, несмотря на расширяющееся распространение износостойких покрытий, имеющийся опыт их обработки явно недостаточен. Объясняется это, по всей видимости, как большим разнообразием покрытий и применяемого инструмента, так и сложностью проведения самих исследований.

Исходя из вышеизложенного, были проведены экспериментальные

исследования по параметрической оптимизации процессов шлифования износостойких покрытий КХП-30Н и ПН55Т45, а также структурно-параметрической оптимизации механической обработки покрытий ПТ19Н01 и РОК-ДЮР 57 на основе самофлюсующихся сплавов.

Операции шлифования износостойких покрытий осуществлялись на модернизированном универсальном круглошлифовальном станке модели 312М. В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости при шлифовании вышеуказанных покрытий применялся 3 % содовый раствор, расход которого составил 10 л/мин<sup>1</sup>. Подача СОЖ в зону резания в процессе проведения исследования осуществлялась свободно падающей струей.

Параметрическая оптимизация процесса круглого наружного шлифования износостойкого покрытия КХП-30Н, состоящего из 70%  $Cr_3C_2$  и 30% Ni, осуществлялась с целью определения наиболее выгодных условий обработки, то есть режущего инструмента и режимов, обеспечивающих наивысшую производительность при обеспечении технических требований на операцию.

При шлифовании покрытия КХП-30Н, образцами служили кольца с наружным диаметром 50 мм, внутренним диаметром 40 мм и шириной 14 мм. Кольца изготавливались из жаропрочного деформируемого сплава ЭИ437Б, на наружную цилиндрическую поверхность которых плазменным методом вначале наносился подслои из терморезирующего никель-алюминиевого порошка НА67 толщиной 0,1...0,15 мм, а затем непосредственно износостойкое покрытие КХП-30Н толщиной 0,6...0,7 мм.

В качестве инструмента при обработке покрытия использовались алмазные (2720-0126 АС2 125/100 6 Б2, 2720-0128 АС4 100/80 6 К1-01) и зльборовые (1А1-2 250x16x76x5x16 ЛО 125/100 В2-01 50 м/с 6) круги.

Кольца-образцы с износостойким покрытием КХП-30Н устанавливались на оправку и шлифовались комплектами по три штуки. Обработка колец велась на режимах:  $v_k = 20...30$  м/с,  $v_3 = 9...18$  м/мин,  $S_{np} = 0,4...0,6$  м/мин,  $S_x = 0,005...0,02$  мм/ход,  $n_{вблх} = 3$  дв. хода.

В ходе проведения исследования определялись составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$ , режущая способность  $Q_m$  и коэффициент шлифования  $k$  кругов, шероховатость поверхности  $Ra$ , а также оценивалось влияние характеристики кругов и режимов обработки на скорость изнашивания покрытия.

Для определения составляющих силы резания при круглом наружном шлифовании износостойкого покрытия КХП-30Н использовалось устройство, представленное в работе [1].

---

<sup>1</sup> Кроме случаев, указанных особо.

Шероховатость поверхности всех обработанных образцов (с покрытием КХП-30Н, ПН55Т45, ПТ19Н01 и РОК-ДЮР 57) определялась при помощи профилометра-профилографа модели 250.

Испытания покрытия на износостойкость проводились в условиях сухого трения на машине СМЦ-2 по схеме «диск-колодочка» с давлением прижима 0,1 МПа при скорости скольжения 0,8 м/с. Колодочки изготавливались из стали ШХ15, закаленной до 58...60 HRC<sub>э</sub> и представляли собой круговые сегменты с центральным углом 45°, наружным диаметром 68 мм, внутренним диаметром 50 мм и шириной 10 мм. Износ колец и колодочек определяли весовым методом на аналитических весах АДВ-200 с точностью измерения  $1 \cdot 10^{-7}$  кг. Взвешивание каждого кольца осуществляли через каждые 2 часа испытания, колодочки – перед испытанием и в конце его. После каждого взвешивания определялась также шероховатость поверхности. В исходном состоянии шероховатость рабочей поверхности колодочки составляла  $Ra = 1,25$  мкм.

Результаты исследования главной и радиальной составляющих силы резания приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, с увеличением поперечной подачи от 0,005 до 0,02 мм/дв.ход наблюдается рост как главной, так и радиальной составляющих силы резания независимо от используемой характеристики круга. Повышение скорости вращения колец с 9 до 18 м/мин незначительно сказалось на изменении силы  $P_z$ , однако привело к росту в среднем в 1,35 раза значений силы  $P_y$ . Вместе с тем следует отметить, что наименьшие значения сил резания при шлифовании на всех исследуемых режимах имели место при использовании алмазных кругов с характеристикой АС4 100/80 6 К1-01.

Алмазные круги на керамической связке, как видно из рис. 2, обладают также наивысшей режущей способностью и наибольшим значением коэффициента шлифования. Режущая способность и коэффициент шлифования алмазных кругов на керамической связке в среднем соответственно в 1,1 и 1,65 раза выше, чем у алмазных и эльборовых кругов на бакелитовых связках.

Результаты исследования шероховатости поверхности показали, что величина параметра  $Ra$  при шлифовании образцов алмазными и эльборовыми кругами вышеуказанных характеристик в заданных диапазонах подач и скоростей находится в интервале от 0,8 до 1,49 мкм. При этом меньшие значения  $Ra$ , как правило, обеспечиваются при использовании кругов на бакелитовых связках, а большие значения  $Ra$  – соответственно при использовании кругов на керамической связке.

В табл. 1 приведены результаты влияния характеристики кругов и режимов обработки на скорость изнашивания покрытия КХП-30Н.

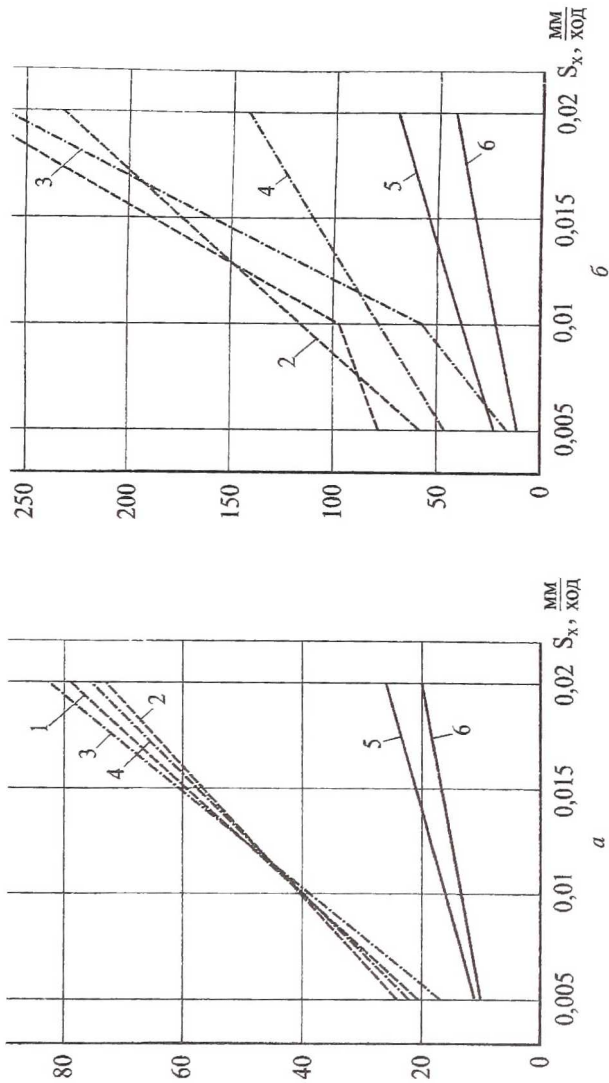
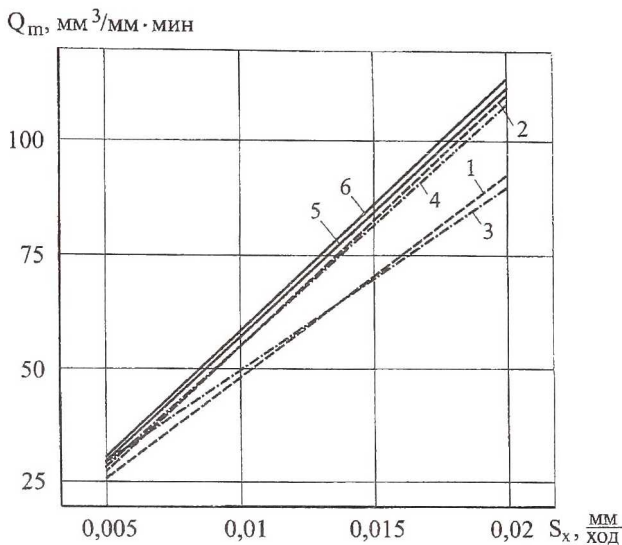
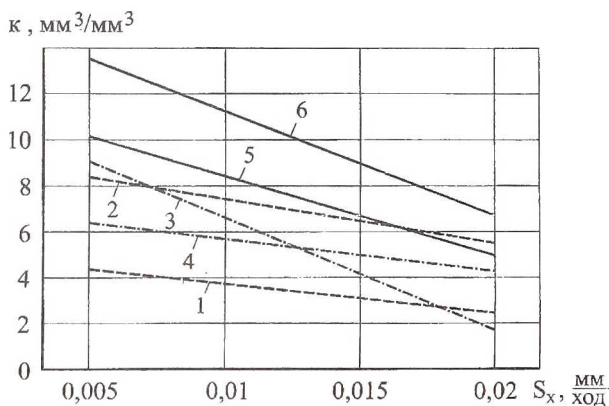


Рис. 1. Влияние поперечной подачи на главную  $P_z$  (а) и радиальную  $P_y$  (б) составляющие силы резания при круглом наружном шлифовании изностойкого покрытия КХП-30Н:  
 1, 2 - круг 1А1-2 250x16x76x16 ЛО 125/100 В2-01 50 м/с; 3, 4 - 2720-0128 АС2 125/100 6 Б2; 5, 6 - 2720-0128 АС4 100/80 6 К1-01;  $v_k = 30$  м/с; 1, 3, 5 -  $v_3 = 18$  м/мин; 2, 4, 6 -  $v_3 = 9$  м/мин;  $S_{пр} = 0,6$  м/мин



а



б

Рис. 2. Влияние поперечной подачи на режущую способность (а) и коэффициент шлифования (б) алмазных и эльборовых кругов при круглом наружном шлифовании износостойкого покрытия КХП-30Н:

1, 2 – круг 1А1-2 250x16x76x5x16 ЛО 125/100 В2-01 50 м/с 6; 3, 4 – 2720-0128 АС2 125/100 6 Б2; 5, 6 – 2720-0128 АС4 100/80 6 К1-01;  $v_k = 30$  м/с; 1, 3, 5 -  $v_s = 18$  м/мин; 2, 4, 6 -  $v_s = 9$  м/мин;  $S_{np} = 0,6$  м/мин

Таблица 1.

Влияние характеристики алмазных и эльборовых кругов и режимов обработки на шероховатость поверхности и скорость изнашивания покрытий КХП-30Н

Инструмент	$v_k$ ,	$v_z$ ,	$S_{np}$ ,	$S_x$ ,	Исходное значение $Ra$ , мкм	Средняя скорость изнашивания, мг/ч
	$\frac{м}{с}$	$\frac{м}{мин}$	$\frac{м}{мин}$	$\frac{мм}{ход}$		
IAI-2 250x16x76x5x16 ЛО 125/100 В2-01 6	30	18	0,4	0,005	0,87	3,13
2720-0126 AC2 125/100 6 Б2	30	18	0,4	0,005	0,82	3,81
2720-0128 AC4 100/80 6 К1-01	20	18	0,4	0,005	1,42	4,63
2720-0128 AC4 100/80 6 К1-01	30	9	0,4	0,005	1,05	4,37
2720-0128 AC4 100/80 6 К1-01	30	18	0,4	0,005	0,80	5,0
2720-0128 AC4 100/80 6 К1-01 полирование кругом ПП250x20x76 64СМ40М2...МЗБ	30	18	0,4	0,005	0,38	3,22

Как видно из табл. 1, наименьшую скорость изнашивания покрытия (среднюю за первые 8 часов испытания) имеют кольца, обработанные алмазными и эльборовыми кругами на бакелитовых связках. Из этой же таблицы следует, что при шлифовании образцов алмазными кругами на керамической связке уменьшение скорости круга с 30 до 20 м/с и увеличение скорости вращения образцов с 9 до 18 м/мин приводит соответственно к повышению скорости изнашивания на 6 и 12,5 %. Однако боль-

шой разброс величины скорости изнашивания покрытия внутри каждой группы образцов дает основание считать несущественным влияние характеристики, используемого для обработки алмазного и эльборового инструмента, и режимов шлифования покрытий на скорость их изнашивания.

Статистическая обработка результатов измерения шероховатости и скорости изнашивания покрытия по всей совокупности образцов (вне зависимости от используемого инструмента и режимов шлифования) показала, что внутри каждого двухчасового временного интервала распределение величин  $Ra$  и  $v_{изн}$  удовлетворительно согласуется (по критерию Колмогорова [2]) с нормальным законом:  $0,75 \leq P_{Ra}(\lambda) \leq 0,9$ ;  $0,86 \leq P_{v_{изн}}(\lambda) \leq 0,99$ .

Зависимости  $Ra$  и  $v_{изн}$  от времени испытания для 5 % уровня значимости представлены на рис. 3 и 4. Анализ зависимостей показывает, что на первом двухчасовом интервале испытания на трение происходит приработка покрытия, которая характеризуется повышением его шероховатости и более интенсивным износом по сравнению с последующими интервалами времени. На последующих двухчасовых интервалах времени происходит стабилизация шероховатости и скорости изнашивания покрытия.

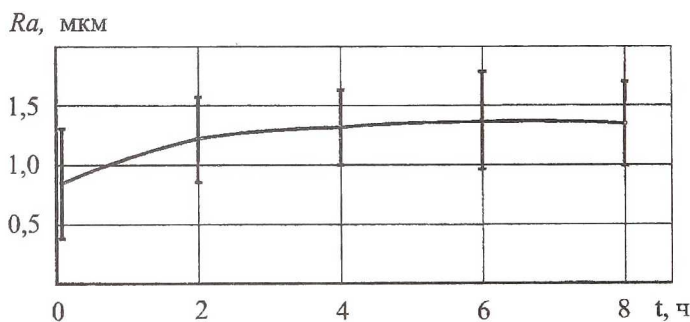


Рис. 3. Влияние продолжительности трения на шероховатость поверхности образцов.

Оценка корреляционной связи между исходной шероховатостью покрытия и скоростью его изнашивания показала, что такая связь незначительна ( $r = 0,38^2$ ), а с течением времени становится еще меньше (в конце четвертого двухчасового интервала  $r = 0,05$ ).

<sup>1</sup>  $r$  - коэффициент корреляции.

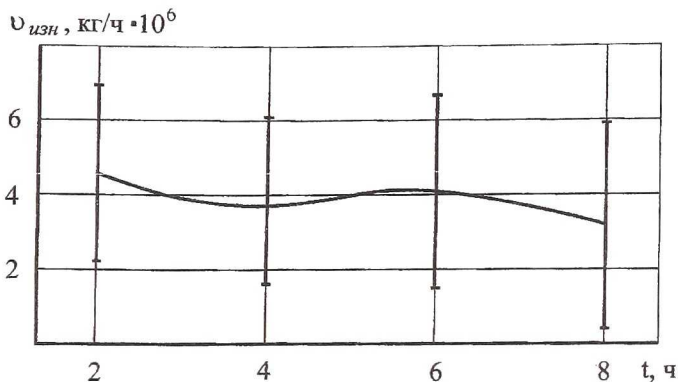


Рис. 4. Зависимость скорости износа образцов от продолжительности трения.

Поэтому, если известно, что данное покрытие будет работать в условиях сухого трения, то, по всей видимости, нецелесообразно стремиться к достижению очень малой шероховатости поверхности.

Для данных условий достаточно получать высоту неровностей в пределах  $0,63 \leq Ra \leq 2,0$ , так как равновесная шероховатость поверхности должна находиться в этих пределах. В условиях жидкостного и граничного трения снижение шероховатости поверхности будет приводить к уменьшению коэффициента трения [3]. Поэтому для условий жидкостного и граничного трения значения параметра  $Ra$  должны иметь существенно меньшие значения.

Таким образом, исходя из результатов проведенных исследований, обработку покрытия КХП-30Н на операциях круглого наружного шлифования целесообразно осуществлять алмазными кругами с зернистостью не менее 100/80, относительной концентрацией алмаза 100, 150 % на керамических связках. При этом процесс шлифования следует вести на режимах:  $v_k = 30$  м/с,  $v_3 = 9 \dots 18$  м/мин,  $S_{np} = 0,4 \dots 0,6$  м/мин,  $S_x = 0,005 \dots 0,01$  мм/ход,  $n_{вых} = 3$  дв. ходов. Большие подачи применять нецелесообразно, так как не исключена возможность образования шлифовочных трещин. При необходимости получения значений параметра  $Ra$  в диапазоне  $0,16 \dots 0,32$  мкм поперечную подачу необходимо снизить в 2 раза ( $S_{2x} = 0,005 \dots 0,01$  мм/дв.ход<sup>1</sup>).

Параметрическая оптимизация обработки износостойкого покры-

<sup>1</sup> Меньшие значения подач использовать на окончательных проходах.



тия из никелида титана ПН55Т45, состоящего из 55 % Ni и 45 % Ti и имеющего твердость 43...47 HRC<sub>3</sub>, заключалось в определении оптимальных характеристик абразивных кругов и рациональных режимов обработки для операций круглого шлифования. Целевой функцией оптимизации являлась производительность обработки, а техническими ограничениями – шероховатость поверхности ( $Ra = 0,16...0,32$  мкм) и отсутствие шлифовочных трещин.

В качестве образцов для круглого наружного и внутреннего шлифования использовались соответственно втулки и кольца из стали 30ХГСН2А. Втулки имели наружный диаметр 50 мм, внутренний диаметр 16 мм и длину 50 мм. Наружный и внутренний диаметры колец, а также их ширина соответственно составляли 124, 110 и 40 мм. На наружную поверхность втулок и внутреннюю поверхность колец плазменным методом наносился слой покрытия ПН55Т45 толщиной 0,6...0,7 мм. Для нанесения покрытия использовался порошок дисперсностью – 63...100 мкм, а сам процесс нанесения покрытия осуществлялся при расходе плазмообразующего газа 2,0 м<sup>3</sup>/час и с максимальной мощностью аргон-азотной плазменной струи 18 (кВт·час)/м<sup>3</sup>. Данные параметры процесса, как показали предварительные исследования, позволяют обеспечить наилучшее сочетание твердости и пористости покрытия.

В качестве абразивного инструмента использовались шлифовальные круги ПП300х32х76 и ПП100х25х20 следующего диапазона характеристик – 54С,63С16...40СМ1...СМ27...8К5.

Исследование процессов круглого шлифования показало, что из всей совокупности абразивных кругов, применяемых для обработки покрытия, наибольшую производительность при стабильном выполнении технических требований в случае круглого наружного шлифования обеспечивают круги ПП300х32х76 63С25СМ17...8К5, а при круглом внутреннем шлифовании – круги ПП100х25х20 63С25СМ17...8К5. Значение параметра  $Ra$  у образцов, обработанных вышеуказанными кругами, на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования составило соответственно 0,25...0,30 мкм и 0,24...0,28 мкм.

Исходя из экспериментальных исследований, были определены рациональные условия обработки износостойкого покрытия ПН55Т45 при круглом наружном и внутреннем шлифовании. Исследование показало, что при круглом наружном шлифовании покрытия абразивными кругами с характеристикой 63С25СМ18К5 обработку целесообразно вести на режимах:  $v_k = 30...35$  м/с,  $v_3 = 25...30$  м/мин,  $S_{np} = 0,9...1$  м/мин,  $S_{2x} =$

0,005...0,01 мм/дв.ход<sup>1</sup>,  $n_{\text{обл}} = 3$  дв. хода. При круглом внутреннем шлифовании величину поперечной подачи необходимо уменьшить до значений равных 0,003...0,005 мм/дв.ход<sup>2</sup>.

Износостойкие покрытия на основе самофлюсующихся сплавов, к которым относятся ПТ19Н01 и РОК-ДЮР 57, отличаются высоким сопротивлением абразивному изнашиванию, стойкостью против коррозии и окисления в сочетании с хорошими антифрикционными свойствами, поэтому достаточно широко используются в производстве.

Так покрытие ПТ19Н01, имеющее твердость не менее 65 HRC<sub>3</sub> и состоящее из 0,8...1,3 % Al и 99,2...98,7 % NiCrBSi (Ni – основа, Cr – 7,9...14 %, В – 1,7...2,5 %, Si – 1,2...3,2 %, Fe – 1,2...3,2 %), хорошо рекомендовало себя при работе на штоках задвижек нефтепроводов, различных уплотнениях, шейках коленчатых валов и т.д. Однако, как показал производственный опыт, механическая обработка покрытия ПТ19Н01 сопряжена с большими трудностями. Это обусловлено жесткими требованиями к качеству поверхности – отсутствие следов дробления и трещин на поверхности, шероховатость поверхности  $Ra = 0,32...0,16$  мкм и т.д.

Определение рациональных условий обработки на каждой операции возможно только на основе структурно-параметрической оптимизации, то есть комплексного рассмотрения каждого этапа механической обработки с последующим определением наиболее приемлемого вида обработки, режима резания, характеристики инструмента и т.д. В связи с этим при исследовании обрабатываемости износостойкого покрытия ПТ19Н01 использовались различные варианты механической обработки: точение, круглое наружное шлифование и круглое наружное шлифование + алмазное выглаживание.

Исследование проводилось на втулках-образцах с наружным диаметром 50 мм, внутренним диаметром 16 мм, шириной 40 мм и толщиной нанесенного покрытия 0,8...1 мм. Причем нанесение покрытия на образцы и его последующее оплавление производилось на различных режимах.

Точение и алмазное выглаживание втулок осуществлялось на высокоточном токарно-винторезном станке 1В616. Образцы поштучно устанавливались на оправку, которая затем закреплялась в патроне станка и поджималась центром задней бабки.

Точение образцов выполнялось резцами с вставками из композита 01 ( $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ) и карбонадо ( $\varphi = 15^\circ$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ ) на режимах:  $v = 16$  м/мин,  $S = 0,03...0,05$  мм/об,  $t = 0,05...0,15$  мм. Обработка велась как с СОЖ, так и без нее. В качестве СОЖ использовался 5 % содовый раствор.

---

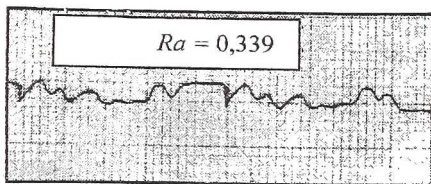
<sup>1,2</sup> Меньшие значения подачи использовать на окончательных проходах.

Исследование показало, что при обработке втулок резцами с вставками из композита 01 на всех исследуемых режимах наблюдалось интенсивное отслаивание и выкрашивание покрытия. При этом наблюдался также интенсивный износ резца по его задней поверхности. При обработке втулок резцами с вставками из карбонадо отслаивание и выкрашивание покрытия хотя и присутствовало, но имело менее выраженный характер. При этом шероховатость обработанной поверхности колец при  $S = 0,03$  мм/об и  $t = 0,05$  мм составила  $Ra = 1,67$  мкм, а при  $S = 0,05$  мм/об и  $t = 0,05$  мм соответственно  $Ra = 1,78$  мкм. И в первом, и во втором случае обработка велась с СОЖ. Учитывая, что после точения наблюдалось отслаивание покрытия, алмазное выглаживание обработанной поверхности не проводилось.

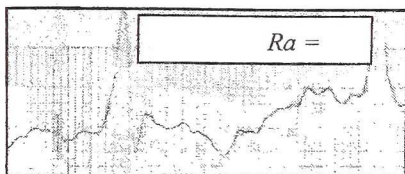
Шлифование втулок-образцов проводилось на оправке, установленной в центрах станка, абразивным кругом ПП300х32х76 64С25нСМ17К3 на режимах:  $v_k = 35$  м/с,  $v_z = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1...4$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005...0,01$  мм/дв.ход, с поливом 5 % содовым раствором и без него. Причем операция шлифования велась как в один, так и в два непрерывно следующих друг за другом перехода – предварительный и окончательный.

Полученные результаты показали, что используемый шлифовальный круг обладает хорошей режущей способностью при стойкости 15...20 мин. Действительный съём покрытия на всех исследуемых режимах обработки практически соответствовал съему, заданному по лимбу станка. При этом лучшее качество обработки, с точки зрения обеспечения минимальной шероховатости поверхности и отсутствия шлифовочных трещин было достигнуто на режимах:  $v_k = 35$  м/с,  $v_z = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1...1,4$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005$  мм/дв.ход. Шероховатость поверхности на этих режимах у различных образцов находилась в пределах  $Ra = 0,255...0,435$  мкм. Образец профилограммы представлен на рис. 5, а. Такой разброс шероховатости поверхности обработанных образцов обусловлен, по-видимому, различием в условиях нанесения покрытия и его оплавления. Причем четко прослеживается тенденция положительного влияния оплавления покрытия на снижение шероховатости обработанной поверхности, уменьшение количества и размера пор, а также на уменьшение вероятности появления шлифовочных трещин.

Производительность процесса шлифования образцов можно существенно повысить, если вести обработку в два перехода – предварительный и окончательный. Однако это приводит к некоторому увеличению шероховатости поверхности покрытия (рис. 5, б).



*a*



*б*

Рис. 5. Профилограммы обработанных поверхностей образцов после шлифования: вертикальное увеличение – 10000, горизонтальное увеличение – 50; *a* – режим шлифования:  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005$  мм/дв.ход; *б* – режимы шлифования: предварительное –  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,01$  мм/дв.ход; окончательное –  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005$  мм/дв.ход

Кроме того, исследование показало, что гарантированное отсутствие шлифовочных трещин на обработанной поверхности покрытия возможно только при шлифовании со смазывающе-охлаждающей жидкостью. Шлифование без СОЖ на любом из исследуемых режимах приводит к образованию на обработанной поверхности сплошной сетки шлифовочных трещин.

Предварительные испытания показали, что если обработку вести даже в один переход на режиме:  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 28,5$  м/мин,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005$  мм/дв.ход, то производительность по сравнению с процессом точения можно повысить минимум в три раза.

Учитывая то, что шероховатость поверхности износостойкого покрытия из ПТ19Н01 некоторых деталей, например штоков задвижек нефтепроводов, штоков автомобильных амортизаторов, не должна превышать  $Ra = 0,32$  мкм, было проведено исследование, цель которого заключалась в определении возможности его выглаживания.

Алмазное выглаживание покрытия выполнялось при помощи специальной пружинной оправки с наконечником из синтетического поликристаллического алмаза (АРВ1), радиус сферы которого составлял 2 мм. Выглаживание велось с усилиями прижима  $P_y$  (алмазного наконечника к вращающемуся образцу) равными 147 Н и 196 Н [4, 5] на режимах:  $v = 16$  м/мин,  $S = 0,03 \dots 0,05$  мм/об на режимах:  $v = 16$  м/мин,  $S = 0,03 \dots 0,05$  мм/об.

Исследование показало, что при алмазном выглаживании покрытия ПТ19Н01 наблюдается снижение шероховатости поверхности. Причем величина этого снижения может достигать 30 % от величины исходной шероховатости и зависит от режимов выглаживания и качества нанесенного покрытия. Однако у всех образцов, подвергнутых алмазному выглаживанию, на поверхности имели место трещины.

Таким образом, основываясь на комплексе проведенных исследований, можно сделать заключение о целесообразности использования для обработки износостойкого покрытия ПТ19Н01 процесса шлифования абразивными кругами с характеристикой 64С40нСМ17К3 на вышеупомянутых режимах.

Износостойкое покрытие РОК-ДЮР 57 наносится на поверхность заготовок газоплазменным напылением с последующим оплавлением при температуре 980-1200 °С. Химический состав порошкового наполнителя шнурового материала, используемого при напылении покрытия, представляет собой систему Ni-Cr-B-Si (основа – Ni, Cr – 9-16 %, В – 1,5-3 %, Si – 3-4,5 %). Твердость покрытия составляет 45-50 НРС, поэтому данное покрытие с успехом может обрабатываться как лезвийным, так и абразивным инструментом.

Определение рациональных условий обработки вышеуказанного покрытия осуществлялось для случая, когда при максимальной производительности обработки требовалось обеспечить заданные геометрическую точность диаметрального размера и шероховатость поверхности, а также отсутствие следов дробления и трещин на обработанной поверхности. При этом заданная геометрическая точность размера должна была соответствовать 8 качеству точности, а шероховатость поверхности  $Ra = 1,6$  мкм.

Исследование по определению наивыгоднейших условий обработки покрытия РОК-ДЮР 57 осуществлялось в условиях Самарского завода «Прогресс» ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» на основе структурно-параметрической оптимизации данного этапа механической обработки. Учитывая, что заданная геометрическая точность размера и шероховатость поверхности могут быть обеспечены путем точения и шлифования, эти два вида обработки сопоставлялись в процессе проведения исследо-

вания.

В качестве образцов использовались втулки с наружным диаметром 112 мм, внутренним диаметром 66 мм, длиной 80 мм и толщиной покрытия, нанесенного на наружную цилиндрическую поверхность втулки, равной 2,0...2,4 мм. Величина снимаемого слоя покрытия на операциях точения и круглого наружного шлифования составляла 1,6 мм на сторону.

Точение втулок осуществлялось на токарно-винторезном станке 16К20. Образцы поштучно закреплялись на оправке, которая затем устанавливалась в центрах станка – невращающемся переднем и вращающемся заднем.

Процесс точения осуществлялся резцами с вставками из композитов 01 и 10 ( $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $r = 0,39$  мм) на режимах:  $v = 56$  м/мин,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,15$  мм. Обработка велась с СОЖ, в качестве которой использовался 5 % содовый раствор.

Исследование показало, что при точении покрытия РОК-ДЮР 57 стойкость резцов с вставками из композита 10 в 5 раз выше, чем при точении резцами с вставками из композита 01. При обработке покрытия на вышеуказанном режиме резания период стойкости резцов с пластинами из композита 10 составил 150 мин, а из композита 01 – 30 мин. При этом предельно допустимый износ по задней поверхности резца принимался равным 0,4 мм.

Шероховатость поверхности покрытия ( $Ra$ ) после его токарной обработки не превышала 0,5...0,6 мкм. Однако не обеспечивалась заданная точность обработки, так как величина отклонения от круглости поверхности покрытия превышала величину допуска на изготовление диаметрального размера образцов.

Машинное время обработки одного образца составило 53 мин.

Шлифование образцов осуществлялось на круглошлифовальном станке ВШ-152УВ-01. Обработка велась абразивными кругами ПП500х80х203 64С40нСМ17К5 на режиме:  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 35$  м/мин,  $S_{np} = 1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005...0,1$  мм/дв.ход.

Исследование показало, что после шлифования с поперечной подачей, равной 0,005 мм/дв.ход, среднее арифметическое отклонение профиля поверхности покрытия не превышало 0,32 мкм. При этом следы дробления и трещины на обработанной поверхности отсутствовали. Увеличение поперечной подачи с 0,005 до 0,1 мм/дв.ход привело к появлению следов дробления, интенсивность которых увеличивалась с ростом поперечной подачи.

Машинное время обработки одного образца при  $S_{2x} = 0,005$

мм/дв.ход составило 51,2 мин. Однако, если учесть, что период стойкости абразивного инструмента не превышал 15 мин и за период шлифования одного образца потребовалось провести три правки круга, то штучное время обработки составило примерно 66 мин.

Таким образом, производительность обработки на операции точения примерно в 1,25 раза выше, чем на операции шлифования.

Исходя из вышеизложенного, механическую обработку покрытия РОК-ДЮР 57 при заданных технических требованиях целесообразно осуществлять в два этапа – предварительный и окончательный.

На этапе предварительной обработки покрытия следует использовать процесс точения. При этом точение следует вести резцами с вставками из композита 10 на режиме:  $v = 56$  м/мин,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,15$  мм. На этапе окончательной обработки покрытия с целью обеспечения технических условий, предъявляемых к обработанной поверхности, необходимо использовать процесс круглого наружного шлифования. В этом случае в качестве инструмента могут использоваться абразивные круги ПП500х80х203 64С40нСМ17К5, шлифование которыми следует вести на режимах:  $v_k = 35$  м/с,  $v_3 = 35$  м/мин,  $S_{np} = 0,9...1$  м/мин,  $S_{2x} = 0,005$  мм/дв.ход.

Таким образом, определены рациональные условия механической обработки износостойких покрытий КХП-30Н, ПН55Т45, ПТ19Н01, РОК-ДЮР 57 и экспериментально установлено, что на выбор вида обработки большое влияние оказывают состав износостойкого покрытия и технология его нанесения (технологические параметры плазменного или газоплазменного напыления, размеры порошка, наличие или отсутствие оплавления покрытия и т.п.), твердость покрытия, толщина нанесенного слоя, точность геометрических размеров и допускаемая величина отклонения формы, шероховатость поверхности и т.д.

#### Список литературы

1. Скуратов Д.Л., Трусов В.Н. Определение рациональных условий обработки при производстве деталей ГТД. Самара: Самарский научный центр РАН, 2002. 152 с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1961. 479 с.
3. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
4. Митряев К.Ф., Беляев А.С., Уланов Б.Н. Влияние алмазного выглаживания на качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей // Производительность, качество обработки и надежность в эксплуатации из жаропрочных и титановых сплавов: Сб. статей. Куйбышев, 1970. Вып.43. С. 141-158.
5. Митряев К.Ф., Беляев А.С., Степанов В.В. Алмазное выглаживание, как метод повышения выносливости хромированных и азотированных деталей авиадвигателей // Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов: Межвуз. сб. Куйбышев, 1976. Вып. 3. С. 215-223.