

УДК 621.923.1

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОПОРИСТЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ *NORTON* ИЗ ЧЕРНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ШЛИФУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ VT20

© 2015 Я.И. Солер, Май Динь Ши

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Статья поступила в редакцию 10.11.2015

Повышение точности формы деталей ведет к росту надежности и долговечности машин. С этой целью плоские детали из сплава VT20 были прошлифованы высокопористыми кругами *Norton* 37C (46; 60; 80) (I; K) 12 VP. Непараметрический метод статистики выявил, что на 5%-ом уровне значимости по мерам положения (медианам) исследуемые круги по режущим способностям оказались равнозначными. Рекомендации по выбору кругов сделаны по мерам рассеяния (прецизионности) по показателям (ГОСТ 24642 – 81): $EFE_{max} - 37C\ 46\ K\ 12\ VP$; EFE_a и $EFE_q - 37C\ 60\ K\ 12\ VP$.

Ключевые слова: шлифование, абразивный круг, титановый сплав, мера положения, стабильность процесса.

Титановый деформируемый сплав VT20 широко используется в авиа- и ракетостроении, космической технике, энергетическом, нефтяном и химическом машиностроении для изготовления ответственных деталей, длительно работающих при температуре до 500°C. Сказанное обусловлено уникальной комбинацией его свойств, такими как высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, жаропрочность по сравнению с алюминиевыми и магниевыми сплавами [1, 2].

Основной задачей современного машиностроения служит повышение качества изготовления машин, которое обеспечивается на окончательном этапе изготовления деталей. Наиболее полно в условиях мелкосерийного производства указанные требования обеспечиваются маятниковым шлифованием периферией абразивного инструмента. Одним из важных показателей качества деталей выступает точность размеров и формы их изготовления [3]. В исследовании принята нормальная относительная геометрическая точность формы плоских деталей: отклонения от прямолинейности EFL и плоскостности EFE не более $0,6T$, где T – допуск на размер заготовки [4]. Трудность шлифования титановых сплавов связана с налипанием стружки на рабочие поверхности абразивных инструментов из карбида кремния и, особенно, электрокорунда из-за высокой адгезионной активности между титаном и традиционными абразивами при рабочих температурах резания. Основным направлением решения этой проблемы является использование высокопористых кругов (ВПК), образующих пространство между зёрнами для более свободного

размещения стружки. Сказанное снижает их закаливание и улучшает условия подачи СОЖ в зону резания, предотвращая появление прижогов и трещин [5–7].

Цель работы: оценить режущие свойства ВПК фирмы *Norton* из черного карбида кремния при шлифовании плоских деталей VT20 с учетом статистических методов, которые позволили дать их комплексную оценку по мерам положения и рассеяния [8].

Методика исследования. Опыты вели при следующих условиях: плоскошлифовальный станок модели 3Г71М; форма и размеры ВПК – 01 250×20×76 по каталогу фирмы *Norton*; объект исследования – образцы с размерами $L \times B \times H = 40 \times 40 \times 40$ мм, шлифуемые по площади $L \times B$ без выхаживания; технологические параметры – скорость резания $v_k = 35$ м/с, продольная подача $s_{пр} = 6$ м/мин, поперечная подача $s_{п} = 4$ мм/дв. ход, глубина резания $t=0,010$ мм, операционный припуск $z=0,10$ мм; СОЖ – 5%-ная эмульсия Аквол-6 (ТУ 0258-024-00148845-98), подаваемая поливом на деталь с расходом 7–10 л/мин. Количество параллельных наблюдений $n = 30$. Выходные переменные процесса представлены в общем виде как y_{ijv} , где индекс $i = \overline{1;4}$ – код ВПК *Norton* из черного карбида кремния: 1 – 37C46 I12 VP (базовый), 2 – 37C46 K12 VP, 3 – 37C60 K12 VP и 4 – 37C80 K12 VP. ВПК $i = 1$ и 2 различаются твердостью: I (мягкие) и K (среднемягкие), а ВПК $i = \overline{2;4}$ – зернистостью: 46, 60, 80 [8]. Второй индекс $j = \overline{1;3}$ отражает принятый показатель отклонений от плоскостности [9]: основной $EFE_{i1} = EFE_{imax}$ характеризующий наибольшие отклонения реальной поверхности от прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка; вспомогательные – $EFE_{i2} = EFE_{ia}$ и $EFE_{i3} = EFE_{iq}$, ко-

Солер Яков Иосифович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: solera@istu.irk.ru
Май Динь Ши, аспирант. E-mail: mdsmm07@gmail.com

торые именуется соответственно средним арифметическим и квадратичным отклонениями от плоскостности. Количество параллельных опытов $v = \overline{1;30}$.

Измерение отклонений от прямолинейности $\Delta_{(\varphi,1)}$ проведено на микрокатере 2 – ИПМ (ТУ 2-234-229-89) в полярной системе координат, центром которой служит пересечение диагоналей квадрата 40×40 мм в 12-ти сечениях $\varphi \in [0^\circ; 330^\circ]$ через 30° по контуру детали, где индекс «1» в закодированном виде представляет расстояние точки измерения от начала полярной системы координат [10, 11]. Реальное расположение поверхности детали в точках $(\varphi,1)$ может оказаться выше $(+\Delta_{(\varphi,1)})$ или ниже $(-\Delta_{(\varphi,1)})$ начала координат, которые именуется соответственно вогнутостью и выпуклостью [9]. В рамках данного исследования режущих способностей ВПК $i = \overline{1;4}$ макроотклонения должны быть представлены вещественной переменной, характеризующей расстояния между выпуклыми и вогнутыми участками поверхности. Далее отклонения от прямолинейности преобразованы в отклонения от плоскостности EFE_{ij} , исходя из следующих соображений:

- при одноименном расположении всех точек поверхности на наружном контуре конкретной v -той детали относительно начала координат

$$EFE_{(\varphi,1)iv} = \Delta_{(\varphi,1)iv}, \quad (1)$$

- при разноименных частных видах отклонений от прямолинейности относительно начала координат

$$EFE_{(\varphi,1)iv} = (\Delta_{\text{но}} + \Delta_{(\varphi,1)})_{iv}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{но}iv}$ – начало отсчета для конкретной детали для операционной партии $v = \overline{1;30}$, взятое по модулю наибольшего альтернативного отклонения от прямолинейности, выявленного среди точек измерения $(\varphi, \rho), \varphi = [0^\circ; 330^\circ], \rho = 0; 0,5; 1$.

По (1), (2) находим $EFE_{(\varphi,1)iv}$ для каждого опыта при переменной $i = \overline{1;4}$. Далее они подлежат трансформированию с учетом выбранного показателя отклонений от плоскостности:

$$EFE_{\text{imax}} = EFE_{i1} = \left\{ \sum_v [EFE_{iv \text{max}}] \right\} / 30, \quad (3)$$

$$EFE_{\text{ia}} = EFE_{i2} = \left\{ \sum_v \frac{1}{12} [\sum_\varphi EFE_{i\varphi v}] \right\} / 30, \quad (4)$$

$$EFE_{\text{iq}} = EFE_{i3} = \left\{ \sum_v \frac{1}{12} [\sum_\varphi (EFE_{i\varphi v})^2]^{0,5} \right\} / 30. \quad (5)$$

Учитывая неустойчивость и стохастическую природу процесса шлифования, интерпретацию наблюдений ведем с привлечением статистических подходов, рассматриваемая их случайными величинами (СВ). В условиях эксперимента они представлены множествами

$$\{y_{ijv}\}, i = \overline{1;4}, j = \overline{1;3}, v = \overline{1;30} \quad (6)$$

В работах [10–12] приведена методика интерпретации экспериментальных данных с использованием статистических методов, которые разделяются на две группы: параметрическую и непараметрическую (в частности, ранговую). Каждый метод статистики имеет свою область рационального применения. Для применения параметрического метода необходимо, чтобы (6) удовлетворяли требованиям нормальности распределений и однородности дисперсий. Второе ограничение к (6) должно выполняться наиболее строго. Изложенные требования при шлифовании чаще всего нарушаются в той или иной мере, что может сопровождаться значимым смещением оценок, доверительных границ и коэффициентов доверия. Это заставляет обращаться к непараметрической теории, свободной от перечисленных ограничений. С целью снижения трудоемкости вычислений, присущих статистическим методам, в работе использована программа *Statistica 6.1.478.0*. Статистические методы позволяют предсказать следующую информацию по одномерному распределению частот (6) [10–13]:

- по мерам положения (опорным значениям):

$$\text{средним } \bar{y}_{ij} = y_{ij\bullet}, \quad (7)$$

$$\text{медианам } \tilde{y}_{ij}; \quad (8)$$

- по мерам рассеяния (прецизионности):

$$\text{стандартам отклонений } SD_{ij}, \quad (9)$$

$$\text{размахам } R_{ij} = (y_{\text{max}} - y_{\text{min}})_{ij}, \quad (10)$$

квартильным широтам

$$\text{КШ}_{ij} = (y_{0,75} - y_{0,25})_{ij}; \quad (11)$$

- по мерам формы распределений, в частности асимметрии (скошенности):

$$As_{ij} = [3(\bar{y} - \tilde{y}) / SD]_{ij}. \quad (12)$$

На частотах (7), (9), (10) базируется параметрический метод, а на (8), (11) – ранговые статистики. В условиях непараметрических статистик (3) – (5) трансформируются от средних на медианы, которые выявляются программой путем ранжирования последовательностей вида: $\{(EFE_i)_{\text{max}}\}_v, \{(EFE_i)_a\}_v, \{(EFE_i)_q\}_v, v = \overline{1;30}$. Влияние непараметрического метода на меры положения количественно оценено медианными коэффициентами при одноименных $i = \overline{1;4}$:

$$K_{M(ij)} = (E\tilde{F}E / E\hat{F}E_{\bullet})_{ij}, \quad (13)$$

$$\hat{K}_{M(ij)} = (mE\hat{F}E / E\hat{F}E_{\bullet})_{ij}. \quad (14)$$

Оценку работоспособности кругов $i = \overline{2;4}$ относительно базового ВПК 37С46 I12 VP ($i = 1$) ведем для обеих характеристик одномерного распределения частот (6):

$$K_{ij} = (\tilde{y}_i / \tilde{y}_1)_j, \quad (15)$$

$$\hat{K}_{ij} = (m\hat{y}_i / m\hat{y}_1)_j, \quad (16)$$

$$K_{ctij1} = (SD_1 / SD_i)_j, \quad (17)$$

$$K_{ctij2} = (R_1 / R_i)_j, \quad (18)$$

$$K_{ctij3} = (KШ_1 / KШ_i)_j. \quad (19)$$

Коэффициенты (14), (16) – (19) необходимы для комплексной оценки режущих способностей абразивных кругов и расширения информационной базы при многокритериальном управлении процессом шлифования с использованием моделей многомерного дисперсионного анализа (МДА) с учетом конструктивных особенностей и служебного назначения деталей. Опытный медианный коэффициент (13) позволяет оценить скошенность кривых распределений.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты тестирования (6) на гомоскедастичность и нормальность распределе-

ний (нуль-гипотезы H_0) представлены в табл. 1, где для подтверждения однородности дисперсий проведено тестирование по трем группам критериев ($\omega = \overline{1;3}$): 1 – Хартли, Кохрена, Бартлетта (в программе представлены одной совокупностью); 2 – Левене; 3 – Брауна-Форсайта. Условием принятия H_0 по гомогенности дисперсий для каждого критерия является выполнение строгого неравенства: $\alpha_{j\omega} < 0,05$, а по всем тестированиям $\omega = \overline{1;3}$ принятие f_0 в пользу H_0 из условия: $f_0 \in [2;3]$. Как видно из таб. 1, такая ситуация имеет место для параметра $E\hat{F}E_{ia}$, когда H_0 приняты по статистикам Левене и Брауна-Форсайта ($f_0 = 2$). Для подтверждения H_0 о нормальности распределении (6) воспользовались критерием Шапиро-Уилка. Нуль-гипотеза по этому критерию принимается, если выполняется строгое неравенство: $\alpha_{ij} > 0,5$, где α_{ij} – надежность принятия H_0 при переменных $i = \overline{1;4}$, $j = \overline{1;3}$. Выявлено, что H_0 отклонены полностью в 12-ти случаях тестирования (6) (таб. 1). Как видно из рис. 1, различные методы расчета показателей отклонений от плоскостности, оперируя одними и теми же (6), оказывают существенное влияние на гистограммы качества.

Таблица 1. Тестирование (6) на гомоскедастичность и нормальность распределений

Проверка на гомоскедастичность				Проверка на нормальность распределений			
Параметр	по статистикам ω			Круг i	по параметрам		
	1	2	3		$E\hat{F}E_{i1}$	$E\hat{F}E_{i2}$	$E\hat{F}E_{i3}$
$E\hat{F}E_{i1} = E\hat{F}E_{imax}$	0,196	0,117	0,370	1	0,0004	0,4538	0,1725
$E\hat{F}E_{i2} = E\hat{F}E_{ia}$	0,134	0,026	0,047	2	0,0074	0,0648	0,1327
$E\hat{F}E_{i3} = E\hat{F}E_{iq}$	0,171	0,068	0,157	3	0,0307	0,0446	0,2040
				4	0,0048	0,1921	0,0207

Примечание: критерии ω : 1 – Хартли, Кохрена, Бартлетта, 2 – Левене, 3 – Брауна-Форсайта; круги i – см. методику эксперимента

Сказанное в табл. 1 отражено различными надежностями отклонений от нормальности распределений. Как видно из рис. 1б, наибольшая величина $\alpha_{12} = 0,4538$ имеет место для показателя $E\hat{F}E_{1a}$. Отмеченные нарушения, накладываемые на СВ со стороны параметрического метода, вызвали необходимость воспользоваться ранговыми статистиками. Приводимые параллельно результаты прогнозирования для гауссового конкурента носят информационный характер и служат для подтверждения его недостаточной

адекватности «на чужом поле». Опорные величины и предсказанные на их основе (13), (15), (16) представлены в табл. 2. Дополнительно информацию по (8), (10), (11) иллюстрируют описательные статистики на рис. 2 по всем показателям отклонений от плоскостности, которые наглядно характеризуют расположение одномерных распределений частот между собой. Полученные результаты следует принимать во внимание и использовать для повышения эффективности шлифования.

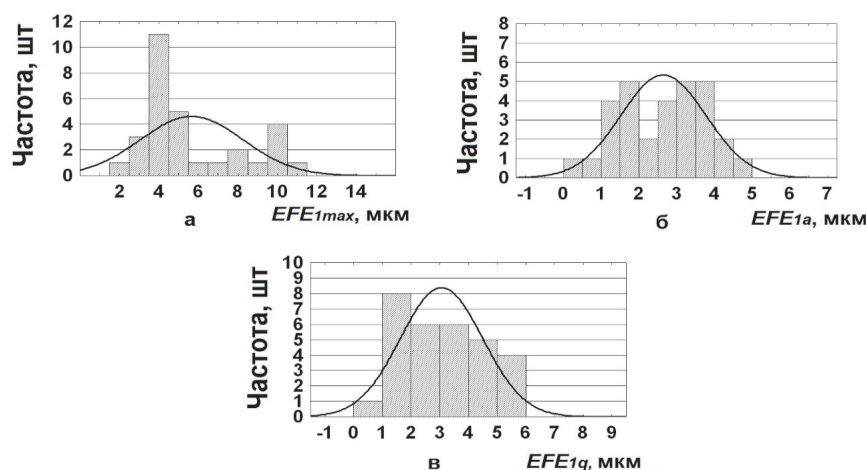


Рис. 1. Гистограммы качества с наложением кривых нормального распределения при шлифовании ВПК 37С46 I12 VP по показателям EFE_{11} (а), EFE_{12} (б), EFE_{13} (в)

Таблица 2. Влияние кругов на меры положения отклонений от плоскостности

Параметр $j = \overline{1;3}$	Круг i	$\bar{y} (TFE),$ мкм	$\tilde{y} (TFE),$ мкм	$\hat{y} (TFE),$ мкм	$m\hat{y} (TFE),$ мкм	K_{Mij} (13)	K_{ij} (15)	\hat{K}_{ij} (16)
$EFE_{i1} =$ EFE_{imax}	1	5,633 (5)	4,500 (5)	6,108 (6)	5,125 (5)	0,799	1,000	1,000
	2	6,033 (6)	5,000 (5)	6,108 (6)	5,125 (5)	0,829	1,111	1,000
	3	6,267 (6)	6,000 (5)	6,108 (6)	5,125 (5)	0,957	1,333	1,000
	4	6,500 (6)	5,000 (5)	6,108 (6)	5,125 (5)	0,769	1,111	1,000
$EFE_{i2} =$ EFE_{ia}	1	2,629 (4)	2,750 (4)	2,896 (4)	2,877 (4)	1,046	1,000	1,000
	2	2,840 (4)	2,500 (4)	2,896 (4)	2,877 (4)	0,880	0,909	1,000
	3	3,345 (4)	3,667 (4)	2,896 (4)	2,877 (4)	1,096	1,333	1,000
	4	2,770 (4)	2,589 (4)	2,896 (4)	2,877 (4)	0,935	0,941	1,000
$EFE_{i3} =$ EFE_{iq}	1	3,041 (4)	2,932 (4)	3,446 (4)	3,174 (4)	0,964	1,000	1,000
	2	3,317 (4)	2,713 (4)	3,446 (4)	3,174 (4)	0,818	0,925	1,000
	3	3,895 (4)	4,045 (5)	3,446 (4)	3,174 (4)	1,038	1,379	1,000
	4	3,531 (4)	3,007 (4)	3,446 (4)	3,174 (4)	0,851	1,025	1,000

Примечание: ВПК i – см. методику эксперимента, в скобках указаны TFE [7].

По (12), (13) легко выявить случаи асимметрии распределений (6). При $K_{Mij} < 1$ эксцесс является положительным, который способствует повышению эксплуатационных показателей машин. По результатам эксперимента опытные медианы \tilde{y}_{ij} в девяти случаях из двенадцати оказались меньше средних \bar{y}_{ij} . Эти случаи шлифования отмечены (13), равными $K_{Mij} = 0,77 - 0,94$. Только при $K_{M41} = 0,77$ сдвиг медианы относительно средней привел к повышению точности от TFE 6 до TFE 5 (для EFE_{4max}). В альтернативном случае при $K_{Mij} < 1$ также на один квалитет точности EFE_{33} превысил аналог по среднему EFE_{33} , а по остальным параметрам сдвиг \tilde{y}_{ij}

относительно y_{ij} протекал внутри TFE. Проведение второго этапа одномерного дисперсионного анализа на предмет множественного сравнения опорных величин на 5%-ом уровне значимости выявило две новые закономерности.

Во-первых, все ожидаемые медианы для основного показателя $mE\hat{F}E_{i1}, i = \overline{1;4}$ предсказаны на один квалитет точности формы (TFE 5) выше, чем по средним (TFE 6). По вспомогательным показателям $EFE_{ij}, j = 2;3$ снижение отклонений от плоскостности оказалось менее интенсивным и протекало внутри одного TFE (таб. 2). Во-вторых, коэффициенты (16), предсказанные по ожидаемым медианам, оказались равны единице. С позиций технологии шлифования следует принять, что при шлифовании деталей ВТ20 варьирование твердости ВПК $i = 1;2$ от I

(мягкой) до K (среднемягкой) и зернистости от 46 до 80 (ВПК $i = \overline{2; 4}$) не оказало значимого влияния на точность формы. Таким образом, выявлена высокая робастность точности формы деталей ВТ20 по медианам к переменным условиям шлифования. Для подтверждения сказанного отметим, что в идентичных условиях шлифования

быстрорежущих пластин ВПК из синтеркорунда 5SG варьирование твердости привело к росту отклонений от плоскостности по всем показателям $EFE_j, j = \overline{1; 3}$ на один квалитет, а варьирование зернистости – сопровождалось, напротив, снижением их величин на один квалитет [14].

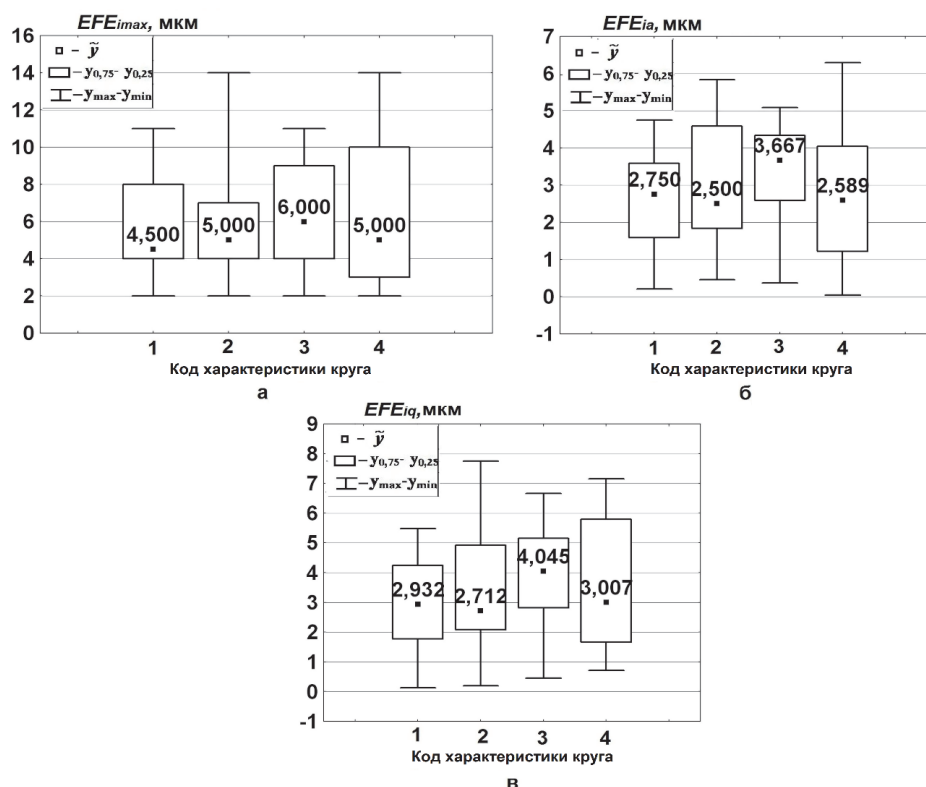


Рис. 2. Описательные непараметрические статистики при шлифовании ВПК $i = \overline{1; 4}$ по показателям отклонений от плоскостности: а – EFE_{i1} , б – EFE_{i2} , в – EFE_{i3}

По прогнозируемым медианам основной показатель $m\hat{E}FE_{\bullet max}$ превышает вспомогательные: $m\hat{E}FE_{\bullet a}$ - в 1,78 раза, $m\hat{E}FE_{\bullet q}$ - в 1,6 раза, соотношение между последними - $m\hat{E}FE_{\bullet q} / m\hat{E}FE_{\bullet a} = 1,1$. Уточним практическое использование показателей отклонений от плоскостности. Основной показатель EFE_{max} характеризует наиболее неблагоприятные условия работы ВПК. В рамках проведенного исследования он имеет неоспоримый приоритет. Однако оказалось, что все $m\hat{E}FE_{\bullet max}$ характеризуются общей средней медианой, т.е. все ВПК $i = \overline{1; 4}$ по наибольшему отклонению от плоскостности предсказаны равноценными. Возможно на точность деталей большую роль оказало состояние станка, а не режущие способности ВПК. Вторым не менее важным направлением использования полученных результатов служит поиск поправочных коэффициентов (14) для базовых моделей МДА,

учитывающие условия шлифования конкретных деталей. Известно, что модели МДА априори предсказывают информацию по EFE_{max} , а модели точности формируются случайными величинами [15]. В этом случае при поиске (14) следует привлекать показатель EFE_q . В крайнем случае можно воспользоваться показателем EFE_a , имея в виду то, что он даст прогнозируемую погрешность в пределах 10%. В данном случае шлифования деталей из сплава ВТ20 коэффициенты (16) также оказались равными единице. В силу сказанного оценку режущих способностей ВПК $i = \overline{1; 4}$ следует вести с учетом прецизионности процесса, что позволяет реализовать привлечение статистических методов.

Меры рассеяния оказались более вариabельными к переменным условиям шлифования по сравнению с (13) и (14). В таб. 3 представлены все три параметра прецизионности (9) – (11). В условиях приоритетного использования непараметрического метода предпочтение отдаем

результатам, предсказанным по квартильным широтам (11) и коэффициенту стабильности (19). Из таб. 3 и рис. 2,а видно, что по показателю EFE_{imax} наименьший $KШ_{21} = 3$ мкм предсказан для ВПК $i = 2$, т.е. при зернистости 46 и твердости K (среднемягкой), прецизионность работы которого оценивается коэффициентом стабильности (19), равным $K_{cr213} = 1,333$. Как видно из рис. 2,а, указанная стабильность формирования EFE_{max} обеспечена снижением процентиля $y_{0,75(23)}$. При этом для ВПК $i = \overline{1;3}$ нижние процентиля $y_{0,25(i3)}$, $i = \overline{1;3}$ сохраняются на одном уровне – 4 мкм. По вспомогательным показателям EFE_{ij} , $j = \overline{2;3}$ наименьшая КШ (таб. 3) предсказана при шлифовании ВПК 37С60 К12 VP ($i = 3$): $KШ_{32} = 1,75$ мкм, $KШ_{33} = 2,346$ мкм. Однако для окончательного принятия решения по стабильности работы ВПК целесообразно воспользоваться описательными статистиками

(рис. 2 б, в), иллюстрирующими расположение КШ относительно размаха и медианы. Как видно из рис. 2,б, при шлифовании деталей ВТ20 кругом 37С46 I12 VP ($i=1$) для показателя EFE_{i2} мера рассеяния относительно ВПК $i = 3$ возросла от 1,75 до 2 мкм. Однако его процентиль $(y_{0,75}, y_{0,25})_{i2}$ относительно аналога для ВПК $i = 3$ сместился ниже. Аналогическая ситуация имеет место и для КШ по показателю EFE_{i3} . В обоих случаях $j = \overline{2;3}$ возросло количество деталей с меньшими отклонениями от плоскостности, вплоть до $TFE = 2,5$ мкм по повышенной относительной геометрической точности [7]. С изложенных позиций даже ВПК 37С80 К12 VP ($i = 4$) немного уступает кругу $i = 3$ по рассеянию точности деталей для показателя EFE_{4q} , а по EFE_{4a} даже его использование при шлифовании имеет преимущества перед ВПК $i = 3$.

Таблица 3. Оценка режущих способностей кругов по мерам рассеяния и коэффициентам стабильности (17) – (19)

Параметр $i = \overline{1;3}$	Круг i	SD_{ij} , мкм	R_{ij} , мкм	$KШ_{ij}$, мкм	K_{crjir}		
					$r=1$ (17)	$r=2$ (18)	$r=3$ (19)
$EFE_{i1} =$ EFE_{imax}	1	2,593	9,000	4,000	1,000	1,000	1,000
	2	3,306	12,000	3,000	0,784	0,750	1,333
	3	2,840	9,000	5,000	0,913	1,000	0,800
	4	3,767	12,000	7,000	0,688	0,750	0,571
$EFE_{i2} =$ EFE_{ia}	1	1,122	4,547	2,000	1,000	1,000	1,000
	2	1,573	5,380	2,750	0,713	0,845	0,727
	3	1,268	4,714	1,750	0,885	0,965	1,143
	4	1,658	6,250	2,833	0,677	0,728	0,706
$EFE_{i3} =$ EFE_{iq}	1	1,429	5,359	2,468	1,000	1,000	1,000
	2	2,061	7,565	2,847	0,693	0,708	0,867
	3	1,660	6,208	2,346	0,861	0,863	1,052
	4	2,029	6,434	4,132	0,704	0,833	0,597

Примечание: круги i – см. методику эксперимента

По параметрическим мерам рассеяния (4), (5), которые носят рекомендательный характер, наибольшая стабильность процесса предсказана при шлифовании титановых деталей ВПК $i=\overline{1;3}$. Сказанное в статье представлено только по размахам (рис. 2а-2в). Если по результатам исследования решается одна из возможных задач, то следует воспользоваться следующими рекомендациями:

- для поиска моделей МДА в качестве базового ВПК следует принять характеристику 37С 46К12 VP;
- при оценке относительной прецизионности процесса в качестве базового инструмента целе-

сообразно принять ВПК 37С60 К12 VP.

Выводы:

1. С позиций опорных значений все медианы наблюдений EFE_{ij} , $i = \overline{1;4}$, $j = \overline{1;3}$ на 5%-ом уровне значимости признаны извлеченными из одной генеральной совокупности и оцениваются общей величиной $E\tilde{F}E_{\bullet j}$, $j = \overline{1;3}$.

2. Определяющим фактором в выборе кругов оказалась прецизионность формирования отклонений от плоскостности. При поиске МДА шли-

фование деталей из сплава VT20 следует вести ВПК 37С46 К12 VP, а при оценке относительной стабильности процесса - ВПК 37С60 К12 VP.

3. В условиях нарушений гомоскедастичности и нормальности распределений наблюдений оказалась целесообразной их статистическая интерпретация с привлечением непараметрического метода и программного продукта *Statistica* 6.1.478.0, которая при равенстве мер положения позволила оценить режущие способности ВПК с учетом прецизионности процесса шлифования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин, А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Польшкин. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.
2. Christoph, L. Titanium and titanium alloys / L. Christoph, P. Manfred. – Wiley-VCH, Weinheim, 2003. 532 p.
3. Рыжов, Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, А.Г. Сулов, В.П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. 176 с.
4. ГОСТ 24643-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Взамен ГОСТ 10356-63 (в части разд. 3). Введ. 01.07.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1981. 14 с.
5. Кремень, З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. – СПб: Политехника, 2007. 424 с.
6. Носенко, В.А. Технология шлифования металлов: монография / В.А. Носенко, С.В. Носенко. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. 616 с.
7. Старков, В.К. Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
8. www.tehnotools.com/upload/iblock/9be/9be7e214f25e68c5398c87614355aa31.pdf (20 марта 2015).
9. ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. Взамен ГОСТ 10356 – 63 (в части разд. I и II). Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. 68 с.
10. Солер, Я.И. Статистические подходы к микрорельефу плоских деталей из закаленной стали 08X15H5Д2Т при маятниковом шлифовании высокопористыми кругами из кубического нитрида бора и синтеркорунда / Я.И. Солер, В.Л. Нгуен, И.А. Гуцол // Вестник ИрГТУ. 2014. №4 (87). С. 33-40.
11. Солер, Я.И. Прогнозирование эффективности шлифования кругами различной пористости из традиционных и новых абразивов по критерию точности формы пластин Р9М4К8 / Я.И. Солер, В.К. Нгуен // Вестник ИрГТУ. 2014. № 11(94). С. 49-58.
12. Hollander, M. Nonparametric statistical methods. Second Edition / M. Hollander, D.A. Wolfe. – Wiley-Interscience, 1999. 787 p.
13. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. Введ. 01.11.2002. – М.: Изд-во стандартов, 2002. 58 с.
14. Солер, Я.И. Оптимальный выбор кругов из синтеркорунда при плоском шлифовании пластин Р6М5 по критерию макрогеометрии / Я.И. Солер, В.К. Нгуен // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. Вып. 21. – Брянск: БГИТА, 2015. С. 67-72.
15. Богомолов, С.И. Расчет точности обработки деталей методом статистического моделирования / С.И. Богомолов, О.Ф. Лукьянец // Вестник машиностроения, 1983. №11. С. 37-39.

AN INFLUENCE ASSESSMENT ON THE FORM ACCURACY OF NORTON HIGHLY POROUS ABRASIVE WHEELS FROM BLACK SILICON CARBIDE DURING GRINDING PARTS FROM VT20

© 2015 Ya.I. Soler, Mai Dinh Si

National Research Irkutsk Technical University

Improving form accuracy of parts conducts to growth of the machine reliability and durability. For this purpose, the plane parts of the alloy VT20 were grinded by highly porous wheels Norton 37C (46; 60; 80) (I; K) 12 VP. At the 5% significance level on position measures (median), non-parametric statistical method revealed that, the investigated wheels are equivalent by cutting ability. Recommendations for choosing wheels are made by measures of scattering (precision) and by the indicators (GOST 24642 – 81): EFE_{max} – 37C 46 K 12 VP; EFE_a и EFE_q – 37C 60 K 12 VP.

Key words: grinding, abrasive wheel, titanium alloy, position measure, process stability.

*Yakov Soler, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
at the Mechanical Engineering Technology Department.
E-mail: solera@istu.irk.ru
Mai Dinh Si, Post-graduate Student.
E-mail: mdsmm07@gmail.com*