

РАСЧЕТ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ШЛИФОВАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2015

Н.И. Веткасов, доктор технических наук, заведующий кафедрой,
профессор кафедры «Технология машиностроения»

А.В. Степанов, инженер-программист кафедры «Технология машиностроения»
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск (Россия)

Ключевые слова: шероховатость; шлифование; абразивный инструмент; твердый смазочный материал; карандаш твердой смазки; качество шлифованной поверхности; наполнитель смазочного материала; наноматериал.

Аннотация: Показано, что одним из эффективных средств повышения качества поверхностного слоя деталей машин на операциях шлифования, выполняемых без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (шлифование деталей электротехнического назначения, заточка лезвийного режущего инструмента и др.), является применение твердых смазочных материалов (ТСМ) в виде карандашей твердой смазки (КТС). Установлено, что шероховатость поверхностей деталей при шлифовании с применением ТСМ может быть снижена за счет введения в их состав наполнителей из высокодисперсных природных материалов и наноматериалов. Показано, что для прогнозирования параметров шероховатости деталей на операции шлифования с применением ТСМ важно наличие методики расчета этих параметров, учитывающей влияние режима обработки, материала обрабатываемой заготовки, характеристики шлифовального круга (ШК), состава и расхода ТСМ. Представлена методика расчета высотных параметров шероховатости деталей, шлифованных с применением ТСМ с наполнителями из наноматериалов и высокодисперсных природных материалов на операции плоского шлифования периферией круга. Для доказательства адекватности разработанной методики приведены результаты экспериментальных исследований, которые проводили на плоскошлифовальном станке мод. 3Е711ВФ2 при варьировании составом и расходом ТСМ, временем и режимом шлифования, характеристикой абразивного инструмента. В ходе исследований контролировали амплитуду статических и динамических колебаний, шероховатость шлифованных поверхностей, которую оценивали (по ГОСТ 25142) тремя высотными параметрами: средним арифметическим отклонением профиля Ra , высотой неровностей профиля по десяти точкам Rz , наибольшей высотой неровностей профиля $Rmax$. По результатам сравнения расчетных (Ra_p) и экспериментальных ($Ra_э$) значений среднего арифметического отклонения профиля Ra шлифованных поверхностей сделан вывод о достаточно высокой точности расчета. Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями не превышало 10...18 %.

Повышение качества и конкурентоспособности изделий машиностроения при снижении затрат на их изготовление является приоритетной задачей при разработке современных технологий механической обработки. Один из наиболее важных параметров изделий, влияющих на их качество, – шероховатость шлифованных поверхностей деталей, входящих в изделия.

В настоящий момент, как правило, заданные микрогеометрические параметры поверхностей деталей формируют на операциях финишной обработки, значительное место среди которых занимают операции шлифования, выполнение которых в большинстве случаев предполагает использование смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), значительное место среди которых занимают смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ).

Однако в ряде случаев использование СОЖ на операциях шлифования ограничено, например, при шлифовании деталей электротехнического назначения, таких как роторы электродвигателей, магнитные головки и другие электротехнические изделия в сборе. СОЖ, как правило, сравнительно редко применяют при заточке режущего инструмента (РИ) в силу наличия вероятности возникновения микротрещин и прижогов, ухудшения контроля процесса заточки и экологической ситуации в зоне шлифования. В этом случае для повышения производительности обработки и качества обработанных поверхностей РИ используют твердые смазочные материалы (ТСМ), например, в виде карандашей твердой смазки (КТС). В качестве ТСМ чаще всего

применяют твердые органические продукты (парафины, стеарины, воски, полимеры, различные смолы), модифицированные твердыми смазочными наполнителями (графит, дисульфиды металлов, нитрид бора и др.). Наполнители существенно влияют на структурно-механические свойства ТСМ, взаимодействуя друг с другом и со связующим [1].

В последнее время определенное внимание уделяют исследованию эффективности применения ТСМ, наполнителями которых являются порошки высокодисперсных природных материалов и наноматериалов. Использование природных наполнителей, например, высокодисперсных порошков голубой глины и диатомита, имеющих ламеллярную структуру и содержащих по массе до 50 % наноструктурированного материала – монтмореллонита, способствует снижению контактного взаимодействия материалов обрабатываемой заготовки и абразивного инструмента. Введение в состав ТСМ наноматериалов оказывает благоприятное воздействие на обстановку в зоне контакта взаимодействующих тел, о чем свидетельствуют результаты исследований Н.Я. Яхьяева, А.П. Перекрестова, А.П. Ильина и др. [2–14].

На выбор конкретного состава ТСМ при проектировании операций шлифования оказывает его способность влиять на формирование шероховатости шлифованной поверхности. Эффективные составы ТСМ снижают шероховатость шлифованной поверхности через изменение смазочного, демпфирующего и диспергирующего действий.

Для прогнозирования высотных параметров шероховатости на операции шлифования с применением ТСМ важно наличие методики расчета этих параметров, учитывающей влияние режима обработки, материала обрабатываемой заготовки, характеристики шлифовального круга (ШК), состава и расхода ТСМ. В известных зависимостях для расчета высотных параметров шероховатости шлифованных поверхностей [15; 16] не учтено влияние состава и расхода ТСМ, нанесенного на рабочую поверхность шлифовального круга.

При разработке математической модели исходили из того, что шероховатость поверхности при шлифовании формируется режущим контуром круга при активном влиянии на этот процесс ТСМ, изменяющего в зоне обработки свое агрегатное состояние. При этом за основную характеристику рельефа круга, от которой непосредственно зависят высота и шаг микронеровностей шлифованной поверхности, принимали динамическую разновысотность активных (режущих и давящих) абразивных зерен H_{0d} , зависящую от динамической характеристики процесса шлифования, а также от статической разновысотности активных зерен H_{0cm} , соответствующей глубине залегания половины из всех выступающих над связкой зерен, измеренной от вершины наиболее выступающего абразивного зерна [15; 16].

Динамическая разновысотность активных абразивных зерен равна согласно [3]:

$$H_{0L}(\tau) = e^{q\tau} \cdot \frac{H_{0cm}}{\sigma_{cm}} \sqrt{(1 + \beta)\sigma_{cm}^2 + \frac{2}{\pi} \cdot A\delta(\tau)^2}, \quad (1)$$

где σ_{cm}^2 – дисперсия статического распределения статической разновысотности активных зерен, мм², определяется по формуле [16]:

$$\sigma_{cm}^2 = 0,2 \cdot h_a^2;$$

h_a – толщина слоя абразива, снимаемого вершиной правящего инструмента при правке, мм;

H_{0cm} – статическая разновысотность зерен рабочей поверхности шлифовального круга, равна [15]:

$$H_{0cm} = h_0 / \sqrt[k]{F(h_{ck})};$$

h_0 – расстояние уровня скалывания активных зерен от наиболее выступающих вершин зерен, соответствующее заданной вероятности, мм;

k – показатель степени;

$F(h_{ck})$ – функция распределения вершин зерен после правки круга;

$A\delta(\tau)$ – амплитуда динамических колебаний ШК, мм:

$$A\delta(\tau) = \frac{j_c \cdot A_{cm} \cdot (\mu_0 / \mu)^p \cdot e^{K_{cotc} m_0 \tau}}{j_c + j_p}, \quad (2)$$

где A_{cm} – амплитуда статических колебаний ШК, мкм;
 K_{cotc} – коэффициент, учитывающий влияние состава КТС на изменение амплитуды динамических колебаний;

j_c, j_p – жесткость системы и жесткость резания, Н/мм, определяются по [1];

μ_0, μ – вязкость эталонного и проверяемого СОТС, соответственно, Па·с;

P – показатель степени, определяемый теоретически или экспериментально [1];

τ – время шлифования, с;

m_0 – показатель степени, характеризующий интенсивность роста амплитуды при шлифовании с эталонным СОТС.

Однако в формуле (2) не учитывается расход ТСМ, находящегося в зоне шлифования.

Как показали исследования Е.С. Киселева [17], изменение расхода СОТС квазилинейно приводит к изменению шероховатости шлифованной поверхности. Поэтому в расчете динамической разновысотности шлифовальных кругов следует учитывать не только изменение амплитуды во времени и влияние на нее ТСМ, но и его расход Q . В связи с этим зависимость для расчета амплитуды динамических колебаний $A\delta$ будет иметь вид:

$$A\delta(\tau, Q) = A_{cm} \cdot K_{mcm} \cdot \frac{j_c}{j_c + j_p} \cdot Q^\alpha \cdot \tau^\beta, \quad (3)$$

где K_{mcm} – коэффициент, учитывающий влияние состава ТСМ на изменение амплитуды динамических колебаний; α – коэффициент, учитывающий изменение амплитуды динамических колебаний в зависимости от расхода ТСМ; β – коэффициент, учитывающий изменение амплитуды динамических колебаний в зависимости от времени шлифования.

С учетом выражения (1) математическую модель расчета среднего арифметического отклонения профиля Ra запишем в виде:

$$Ra(\tau) = K_{31} \cdot R[H_{0L}(\tau)]^{f_1}, \quad (4)$$

где K_{31} – коэффициент, учитывающий влияние засаливания рабочей поверхности круга и связанных с этим явлений схватывания металла заготовки с налипшими на круг частицами стружки; методика определения K_{31} дана в работе [18]; можно принять $K_{31} = 1,0$ при шлифовании заготовок из углеродистых и низколегированных сталей; при шлифовании заготовок из химически и адгезионноактивных материалов $K_{31} = 1,0$ в случае работы «острым» кругом (в других случаях – $K_{31} = 1,1 \div 1,6$ (меньшие значения для чистовых режимов и при использовании высокоэффективных ТСМ));

R – коэффициент, зависящий от характеристики, размеров и условий правки круга, от размеров заготовки, схемы и режима шлифования;

f_1 – показатель степени [16].

Окончательно математическая модель для расчета среднего арифметического отклонения профиля Ra может быть записана в виде:

$$Ra(\tau) = K_{31} \cdot R[e^{q\tau} \cdot \frac{H_{0cm}}{\sigma_{cm}} \sqrt{(1 + \beta)\sigma_{cm}^2 + \frac{2}{\pi} \cdot A\delta(\tau, Q)^2}]^{f_1}. \quad (5)$$

Таким образом, получена математическая модель формирования среднего арифметического отклонения профиля Ra шлифованной поверхности с учетом свойств и расхода ТСМ.

Для автоматизации расчета шероховатости поверхностей, шлифованных с применением ТСМ, по предложенной методике написана программа на языке C++. Для проверки адекватности предложенной математической модели проведены экспериментальные исследования.

На плоскошлифовальном станке мод. 3Е711ВФ2 выполняли всухую плоское шлифование периферией круга 1 300'40'76'25А F60 М 5 V А образцов из стали Р6М5, HRC 63...65, высотой 20 мм и диаметром 150 мм. Перед началом каждой серии опытов партию заготовок вышлифовывали в один размер с допуском по 7 качеству и шероховатостью по параметру $Ra \leq 1,6$ мкм. Отклонение шероховатости в партии заготовок не превышало 8...10 %.

Параметры шероховатости шлифованной поверхности измеряли на профилографе мод. 170622.

По результатам предварительных исследований качества обработанных поверхностей деталей плоское шлифование периферией круга заготовок из стали Р6М5 осуществляли со скоростью стола (заготовки) $V_{ст}=15$ м/мин, поперечной подачей $S_n=1$ мм/ход и с подачей на врезание $S_{np}=0,01$ мм/ход.

Режимы шлифования выбирали в соответствии с рекомендациями, изложенными в [19; 20], с учетом материала шлифуемых заготовок, прогнозируемой шероховатости шлифуемой поверхности, срока службы станка, жесткости технологической системы.

Варьировали составом ТСМ (табл. 1) и временем его нанесения на рабочую поверхность ШК (15 и 30 с). В ходе исследований также применяли ТСМ производства НПО «Алтай», обозначенный как состав А.

Расход ТСМ измеряли с помощью цифровых весов ВК-3000. Амплитуду колебаний шлифовального круга фиксировали пьезоэлектрическими вибропреобразователями ДН-3 и аналого-цифровым преобразователем LA20-USB.

Круги правили методом обтачивания, используя в качестве правящего инструмента алмазный карандаш 3908-0083 С2 (ГОСТ 607), с непрерывной подачей СОЖ поливом свободно падающей струей с расходом 5...8 dm^3/min по режиму: 3 рабочих хода с подачей $S_n=0,03$ мм/дв.ход; 3 прохода без подачи алмазного карандаша; скорость продольной подачи алмазного карандаша $S_{np}=0,2 - 0,05$ м/мин.

Шероховатость шлифованной поверхности оценивали (по ГОСТ 25142) тремя высотными параметрами: средним арифметическим отклонением профиля Ra , мкм; высотой неровностей профиля по десяти точкам Rz , мкм; наибольшей высотой неровностей профиля $Rmax$, мкм. Параметры шероховатости шлифованной поверхности Ra , Rz , $Rmax$ измеряли через 0,1 и 4 мин. По результатам исследований были получены зависимости амплитуды динамических колебаний A_0 и среднего арифметического отклонения профиля Ra от времени шлифования, состава и количества смазочного материала (табл. 2), нанесенного на рабочую поверхность шлифовального круга.

Таблица 1. Составы материала ТСМ

Обозначение состава	Компоненты, % масс				
	Серая глина	Парафин	Графит	Диатомит	Дисульфид молибдена
М	-	60	10	-	30
Г2	40	60	0	-	-
Д1	-	60	0	40	-

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные значения высотных параметров шероховатости поверхностей, шлифованных с применением ТСМ

Состав ТСМ	Время нанесения, с	Время шлифования, мин	Расход Q , г	A_0 , мкм	Ra_p , мкм	Ra_3 , мкм	Rz_3 , мкм	$Rmax_3$, мкм
Г2	15	0,1	1,8	3,318	0,308	0,326	2,150	2,420
Г2	15	4,5	1,8	4,306	0,390	0,373	2,340	2,960
Г2	30	0,1	2,0	2,76	0,251	0,270	2,080	2,330
Г2	30	4,5	2,0	2,786	0,322	0,313	2,246	2,810
Д1	15	0,1	3,0	3,698	0,427	0,483	2,910	3,743
Д1	15	4,5	3,0	3,926	0,656	0,636	3,210	5,073
Д1	30	0,1	5,2	2,381	0,220	0,223	1,130	1,583
Д1	30	4,5	5,2	3,14	0,329	0,326	1,826	2,470
М	15	0,1	2,3	3,14	0,585	0,623	2,870	4,656
М	15	4,5	2,3	3,875	0,767	0,690	3,950	6,166
М	30	0,1	3,7	2,305	0,337	0,356	1,846	2,426
М	30	4,5	3,7	3,546	0,431	0,413	2,830	3,126
А	15	0,1	0,8	2,76	0,281	0,270	1,770	2,435
А	15	4,5	0,8	2,786	0,368	0,313	2,833	4,063
А	30	0,1	1,2	1,697	0,211	0,206	1,490	2,026
А	30	4,5	1,2	3,546	0,360	0,350	2,980	3,656

Сравнение расчетных (R_{ap}) и экспериментальных (R_{a3}) значений среднего арифметического отклонения профиля Ra шлифованных поверхностей позволяет сделать вывод о достаточно высокой точности расчета. Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями не превышало 10...18 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Худобин Л.В., Бабичев А.П., Булыжев Е.М., Боровский Г.В., Веткасов Н.И., Гисметулин А.Р. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
- Ильин А.П., Назаренко О.Б., Рихерт С.В. Влияние суспензии «моторное масло + смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения «углеродистая сталь – низколегирующая сталь» // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 3. С. 77–79.
- Яхьяев Н.Я., Бегов Ж.Б., Батырмурзаев Ш.Д. Новая смазочная композиция для модификации поверхностей трибосопряжений судового малоразмерного дизеля // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2009. № 1. С. 251–255.
- Перекрестов А.П., Непомнящий В.А. Механизм действия противоизносной присадки на магниевой основе // Вестник АГТУ. 2008. № 2. С. 46–50.
- Стариков С.В., Прушак В.Я., Богданович П.Н. Твердая смазка для абразивной обработки сталей и твердых сплавов (ее варианты) и антиприжоговая добавка к смазкам для абразивной обработки сталей и твердых сплавов: патент РФ № 96120057, заявл. 03.10.1996, опубл. 27.06.1997.
- Симашко В.В., Федоренко И.Н., Лендель И.В., Ищук Ю.Л., Ваврик В.И., Стахурский А.Д., Тамбовцева Н.Н. Твердая технологическая смазка для механической обработки металлов: патент РФ № 94039509, заявл. 20.10.1994, опубл. 10.08.1996.
- Стариков С.В., Прушак В.Я., Богданович П.Н. Антиприжоговая добавка к смазкам для абразивной обработки сталей и твердых сплавов и твердые смазки, содержащие ее (варианты): патент РФ № 2118651, заявл. 08.10.1996, опубл. 10.09.1998.
- Булатов М.А., Кононенко В.И., Лундина В.Г., Курникова Л.И., Алехина В.Д., Шевченко В.Г., Швейкин Г.П., Нохрин А.С. Твердая смазка для абразивной обработки металлов: патент РФ № 2114903, заявл. 04.09.1996, опубл. 10.07.1998.
- Кононенко В.И., Алехина В.Д., Байдалин Ю.А., Рябина А.В., Торокин В.В., Шевченко В.Г. Твердая смазка для абразивной обработки материалов: патент РФ № 2005134068, заявл. 03.11.2005, опубл. 10.05.2007.
- Ашихмин И.В. Исследование влияния твердых смазок на процессы трения и износа круга при абразивной разрезке нержавеющей сталей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1981. 21 с.
- Gleiter H. Nanocrystalline materials // Progress in Materials Science. 1989. Vol. 33. № 4. P. 223–315.
- Nazarov A.A., Mulyukov R.R. Nanostructured Materials // Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology. USA: CRC Press, 2002. P. 22–41.
- Кремнев Г.П. Новые составы твердых смазок для лезвийной и абразивной обработки труднообрабатываемых материалов // Вестник инженерной академии Украины. 2001. Вып. 3. С. 351–354.
- Булатов М.А., Кононенко В.И., Лундина В.Г., Курникова Л.И., Алехина В.Д., Шевченко В.Г., Швейкин Г.П., Нохрин А.С. Твердая смазка для абразивной обработки металлов: патент РФ № 96117774, заявл. 04.09.1996, опубл. 20.11.1998.
- Белов М.А. Повышение качества шлифованных деталей из коррозионно-стойких сталей путем рационального применения технологических жидкостей : дис. ... канд. техн. наук. Ульяновск, 1986. 366 с.
- Королев А.В. Исследование процессов образования поверхности инструмента и деталей при абразивной обработке. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 191 с.
- Киселев Е.С. Исследование возможности повышения эффективности круглого наружного скоростного шлифования путем рационального использования смазочно-охлаждающих жидкостей : дис. ... канд. техн. наук. Ульяновск, 1977. 292 с.
- Правиков Ю.М. Повышение эффективности операций шлифования путем снижения засаливания рабочей поверхности шлифовального круга (на примере шлифования заготовок из алюминиевых сплавов) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1983. 16 с.
- Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, 1979. 248 с.
- Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах : справочник. Челябинск: АТОКСО, 2007. 384 с.

REFERENCES

- Khudobin L.V., Babichev A.P., Bulyzhev E.M., Borovskiy G.V., Vetkasov N.I., Gismetulin A.R. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primeneniye pri obrabotke rezaniem* [Lubricating-cooling process means and their application during cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006, 544 p.
- Piyin A.P., Nazarenko O.B., Richert S.V. Influence of «oil + mixture of copper and nickel nanopowders» suspension on a tribological behavior of «carbon steel – low-alloy steel» pair friction. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2004, vol. 307, no. 3, pp. 77–79.
- Yahyaev N.Y., Begov Zh.B., Batirmurzaev Sh.D. New lubricant composition for updating surfaces of friction units of marine small-sized diesel engine. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2009, no. 1, pp. 251–255.
- Perekrestov A.P., Nepomnyashchy V.A. The mechanism of the antiwear additive on the magnetic basis. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 2, pp. 46–50.
- Starikov S.V., Prushak V.Y., Bogdanovich P.N. *Tverdaya smazka dlya abrazivnoy obrabotki staley i tverdikh splavov (ee varianty) i antiprizhogovaya dobavka k smazkam dlya abrazivnoy obrabotki staley i tverdikh splavov* [Solid lubricant for abrasive processing of steels and hard alloys (its variants) and anti-burning

- additive to lubricant for abrasive processing of steels and hard alloys]. Patent RF no. 96120057, 1996.
6. Simashko V.V., Fedorenko I.N., Lendyel I.V., Ishchuk Yu.L., Vavrik V.I., Stakhurskiy A.D., Tambovtseva N.N. *Tverdaya tekhnologicheskaya smazka dlya mekhanicheskoy obrabotki metallov* [Solid process lubricant for mechanical treatment of metals]. Patent RF no. 94039509, 1994.
 7. Starikov S.V., Prushak V.Ya., Bogdanovich P.N. *Antiprizhogovaya dobavka k smazkam dlya abrazivnoy obrabotki staley i tverdikh splavov i tverdie smazki, sodержashchie ee (varianty)* [Anti-burning additive to lubricants for abrasive processing of steels and hard alloys and solid lubricants containing it (variants)]. Patent RF no. 2118651, 1996.
 8. Bulatov M.A., Kononenko V.I., Lundina V.G., Kurnikova L.I., Alekhina V.D., Shevchenko V.G., Shveykin G.P., Nokhrin A.S. *Tverdaya smazka dlya abrazivnoy obrabotki metallov* [Solid lubricant for abrasive processing of metals]. Patent RF no. 2114903, 1996.
 9. Kononenko V.I., Alekhina V.D., Baydalín Yu.A., Ryabina A.V., Torokin V.V., Shevchenko V.G. *Tverdaya smazka dlya abrazivnoy obrabotki materialov* [Solid lubricant for abrasive processing of materials]. Patent RF no. 2005134068, 2005.
 10. Ashikhmin I.V. *Issledovanie vliyaniya tverdikh smazok na protsessy treniya i iznosa kruga pri abrazivnoy razrezke nerzhavayushchikh staley*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Study of solid lubricants influence on the processes of wheel dragging and wear during abrasive cutting of stainless steels]. Novocheerkassk, 1981, 21 p.
 11. Gleiter H. Nanocrystalline materials. *Progress in Materials Science*, 1989, vol. 33, no. 4, pp. 223–315.
 12. Nazarov A.A., Mulyukov R.R. Nanostructured Materials. *Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology*. CRC Press, 2002, pp. 22–41.
 13. Kremnev G.P. New compounds of solid lubricants for edge and abrasive processing of hard-to-machine materials. *Vestnik inzhenernoy akademii Ukrainy*, 2001, no. 3, pp. 351–354.
 14. Bulatov M.A., Kononenko V.I., Lundina V.G., Kurnikova L.I., Alekhina V.D., Shevchenko V.G., Shveykin G.P., Nokhrin A.S. *Tverdaya smazka dlya abrazivnoy obrabotki metallov* [Solid lubricants for abrasive processing of metals]. Patent RF no. 96117774, 1996.
 15. Belov M.A. *Povishenie kachestva shlifovannikh detaley iz korroziyno-stoykikh staley putem ratsionalnogo primeneniya tekhnologicheskikh zhidkostey*. Diss. kand. tekhn. nauk [Quality improvement of ground parts made of corrosion-resistant steels by means of competent use of process fluids]. Ulyanovsk, 1986, 366 p.
 16. Korolev A.V. *Issledovanie protsessov obrazovaniya poverkhnosti instrumenta i detaley pri abrazivnoy obrabotke* [Study of the processes of surface formation of tools and parts during abrasive processing]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1975, 191 p.
 17. Kiselev E.S. *Issledovanie vozmozhnosti povisheniya effektivnosti kruglogo naruzhnogo skorostnogo shlifovaniya putem ratsionalnogo ispolzovaniya smazochno-okhlazhdayushchikh zhidkostey*. Diss. kand. tekhn. nauk [Study of possibility of improvement of efficiency of round external high-speed grinding by means of competent use of lubricating-cooling fluids]. Ulyanovsk, 1977, 292 p.
 18. Pravikov Yu.M. *Povishenie effektivnosti operatsiy shlifovaniya putem snizheniya zasalivaniya rabochey poverkhnosti shlifovalnogo kruga (na primere shlifovaniya zagotovok iz alyuminievikh splavov)*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Grinding operations efficiency improvement by means of glazing reducing of grinding wheel functional surface (the case of aluminum alloys blank parts grinding)]. Saratov, 1983, 16 p.
 19. Filimonov L.N. *Vysokoskorostnoe shlifovanie* [High-speed grinding]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979, 248 p.
 20. *Rezhimy rezaniya na raboty, vpolnyaemie na shlifovalnikh i dovodochnikh stankakh s ruchnim upravleniem i poluavtomatakh*. Spravochnik [Cutting modes for operations performed on manually-operated and semi-automated grinding and lapping machines]. Chelyabinsk, ATOKSO Publ., 2007, 384 p.

CALCULATION OF ROUGHNESS OF SURFACES GROUND USING SOLID LUBRICANTS

© 2015

N.I. Vetkasov, Doctor of Engineering, Head of the Department,
Professor of the Department “Technology of machine building”
A.V. Stepanov, programmer engineer of the Department “Technology of machine building”
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk (Russia)

Keywords: roughness; grinding; abrasive tool; solid lubricant; solid lubricant stick; ground surface quality; lubricant filler; nanomaterial.

Abstract: The study showed that the applying of solid lubricants (SL) in the form of solid lubricant sticks (SLS) is one of the effective means for quality improvement of the surface layer of machine parts used during the grinding operations performed without lubricating-cooling fluids (grinding of parts of electro-technical devices, sharpening of edge cutting tools and so on). The authors defined that the roughness of the parts surfaces during the grinding using SLs can be reduced by introduction of finely dispersed natural and nanomaterial fillers to their compound. The study showed that to predict the parts roughness parameters during the grinding operations using SLs it is very important to have a calculation procedure for these parameters which takes into account the influence of the processing mode, processed blank part material, grinding wheel (GW) characteristics, SL compound and consumption. The authors presented the procedure for calculation of height roughness parameters of parts ground using SLs with the fillers of nanomaterials and finely dispersed natural materials during the operation of surface grinding with the periphery of a straight wheel. To prove the adequacy of the procedure, the authors give the results of experimental study which were carried out on the 3E711VF2 surface-grinding machine varying the SL compound and consumption, time and grinding modes, and the abrasive tool characteristics. During the study, the authors monitored the static and dynamic vibrations amplitude, and the roughness of the ground surfaces, which was assessed according to three height parameters (as per GOST standard 25142): arithmetic average roughness height Ra , ten-point height of irregularities Rz , and maximum height of profile $Rmax$. According to the results of comparing calculated (Ra_c) and experimental (Ra_e) values of arithmetic average roughness height Ra of the ground surfaces the authors concluded sufficiently high accuracy of calculation. The discrepancy between the calculated and experimental values did not exceed 10 ... 18 %.