

УДК 621.787

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ИЗ СТАЛИ 15X12Н2МВФАБ-Ш ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНДЕНТОРА ИЗ НАТУРАЛЬНОГО АЛМАЗА**

©2014 А.Н. Швецов, Д.Л. Скуратов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

В работе приведены результаты исследования процесса алмазного выглаживания образца из жаропрочной деформируемой стали 15X12Н2МВФАБ-Ш индентором из натурального алмаза ОСТ2 И77-5-75. Выглаживание образца осуществлялось после предшествующей токарной обработки. Процесс точения выполнялся твёрдосплавным режущим инструментом с пластиной марки Т15К6 при закреплении исследуемого образца в патроне с поджатием центром задней бабки. Выглаживание производилось при двух различных способах закрепления образца (в центрах и в трёхкулачковом патроне с поджатием центром задней бабки). Измерение параметров шероховатости выполнялось на автоматизированном профилографе-профилометре модели БВ-7669. Исследования показали возможность возникновения макрорельефа на выглаженной поверхности при обработке образца в центрах и его отсутствие при обработке образца в патроне с поджатием центром задней бабки. С целью получения эмпирических зависимостей, связывающих шероховатость поверхности с параметрами процесса алмазного выглаживания (силой прижатия, скоростью, подачей, величиной исходной шероховатости и радиусом алмазного выглаживающего инструмента) был осуществлён ряд однофакторных экспериментов, обработанных с использованием метода наименьших квадратов. Полученные результаты хорошо коррелируются с результатами экспериментов, полученных ранее при исследовании процесса алмазного выглаживания с использованием выглаживающего инструмента из синтетического алмаза АСБ-1.

*Алмазное выглаживание, параметры процесса выглаживания, натуральный алмаз, макрорельеф, шероховатость поверхности.*

**Введение.** Алмазное выглаживание является одним из наиболее эффективных процессов отделочно-упрочняющей обработки, получившим широкое распространение в авиа- и двигателестроении, судостроении, автомобилестроении и других отраслях промышленности [1, 2]. Этот процесс позволяет уменьшить величину шероховатости поверхности [1, 3] и обеспечить упрочнение поверхностного слоя и формирование в нём сжимающих остаточных напряжений, что благоприятно сказывается на повышении сопротивления усталости деталей [1, 3].

Эффективное применение данного процесса может быть обеспечено лишь на основе использования рациональных условий обработки, которые могут быть определены путём применения имеющихся математических моделей [4-6], реализованных в программах расчёта.

Для получения моделей по определению рациональных условий отделочно-упрочняющей обработки на операциях алмазного выглаживания заготовок, в частности из жаропрочной деформируемой стали 15X12Н2МВФАБ-Ш, необходимо наличие эмпирических зависимостей, связывающих параметры шероховатости поверхности с параметрами алмазного выглаживания. Данная работа посвящена определению такой зависимости при выглаживании образца из стали 15X12НМВФАБ-Ш натуральным алмазом.

**Методика.** Исследование процесса алмазного выглаживания образца из указанной стали, имеющей твёрдость 3145-3804 МПа, осуществлялось на токарно-винторезном станке модели 1В616 алмазным выглаживающим инструментом из натурального алмаза ОСТ2 И77-5-75 при двух различных способах закрепления ис-

следуемого образца. В первом случае выглаживание выполнялось в центрах, а во втором случае закрепление образца осуществлялось в трёхкулачковом патроне с поджатием центром задней бабки станка.

Процесс точения наружной поверхности образца, имеющего длину 220 мм и диаметр 115 мм, производился при его закреплении в центрах (рис. 1) проходным резцом с напаянной пластиной из твёрдого сплава Т15К6 (ГОСТ 3882-74). Рабочая часть резца имела следующую геометрию: главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ ; вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 42^\circ$ ; передний угол  $\gamma = 20^\circ$ ; главный задний угол  $\alpha = 20^\circ$ ; радиус при вершине  $r = 0,39$  мм.

Точение выполнялось на режиме:  $n=315$  1/мин,  $S_0 = 0,11$  мм/об,  $t = 0,25$  мм. При этом разница величин среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $Ra$  на различных участках образца после каждого из выполненных проходов обработки не превышала 0,23 мкм, а среднее значение параметра  $Ra$  изменялось в пределах 2,94 ... 3,63 мкм.

После выполнения процесса наружного точения образец делился на 12 равных участков с целью изучения влияния каждого исследуемого параметра процесса алмазного выглаживания на шероховатость поверхности.

Для оценки шероховатости поверхности использовался автоматизированный профилограф-профилометр модели БВ-7669.

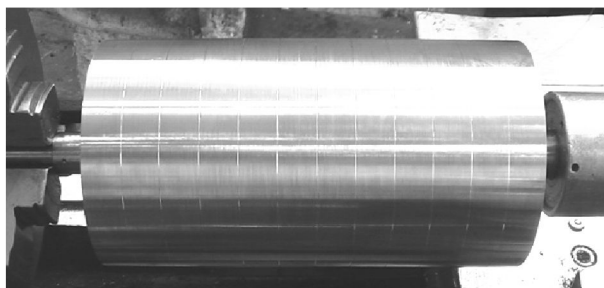


Рис. 1. Процесс обточки образца в центрах

Алмазное выглаживание образца при закреплении его в центрах, а также в патроне с поджатием центром задней бабки (рис. 2) выполнялось на идентичных

режимах. При этом исследуемые параметры алмазного выглаживания изменялись в следующих диапазонах: скорость выглаживания  $v = 22,8 \dots 90,4$  м/мин (63-250 об/мин); подача  $S_0 = 0,02 \dots 0,13$  мм/об; радиус выглаживателя  $r = 2 \dots 3$  мм; исходная шероховатость поверхности  $Ra_{исх} = 0,46 \dots 8,21$  мкм. Изменение исходного параметра шероховатости обеспечивалось изменением величины подачи на операции обтачивания образца.

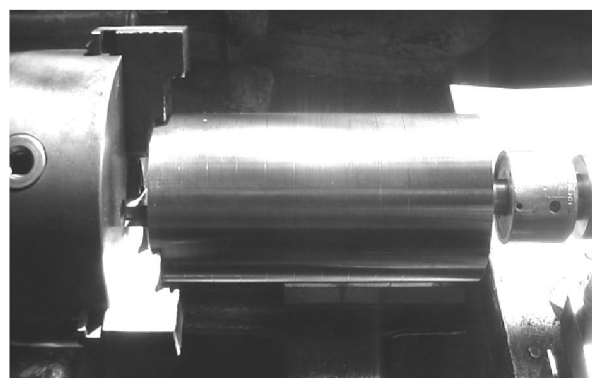


Рис. 2. Процесс выглаживания в трёхкулачковом патроне

**Результаты.** В процессе алмазного выглаживания образца при его закреплении в центрах на некоторых режимах на обработанной поверхности возникал макрорельеф. Основными факторами, влияющими на возникновение макрорельефа (рис. 3), как показало исследование, являются сила и скорость выглаживания. Возникновение макрорельефа наблюдалось при силе выглаживания равной 150 Н и более, а увеличение скорости выглаживания при данных значениях силы приводило к увеличению шага макрорельефа (рис. 4).

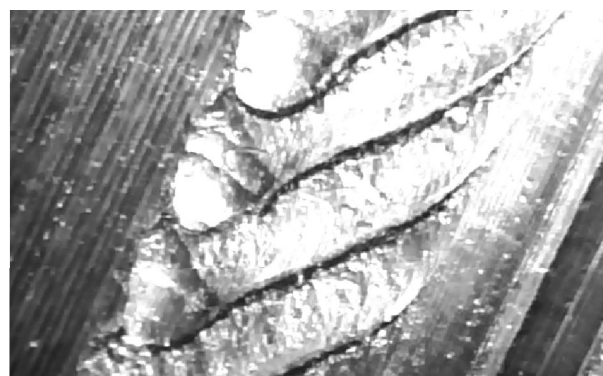


Рис. 3. Макрорельеф поверхности образца

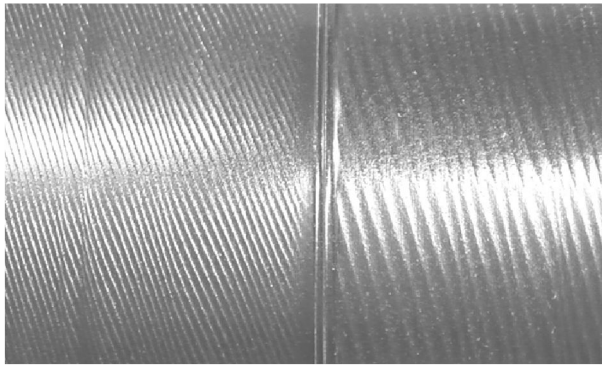


Рис. 4. Влияние скорости выглаживания на макрорельеф

На основе результатов однофакторных экспериментов с помощью метода наименьших квадратов получены зависимости, связывающие шероховатость поверхности ( $Ra$ ) с параметрами процесса алмазного выглаживания (рис. 5).

На рис. 5а представлена зависимость влияния подачи на параметр  $Ra$ . Как видно из рисунка, увеличение подачи ведёт к повышению шероховатости поверхности. Аналогичная зависимость имеет место и при увеличении исходной шероховатости поверхности, что видно из рис. 5б. Увеличение радиуса алмазного инструмента, в отличие от увеличения подачи и исходной шероховатости, способствует снижению шероховатости поверхности (рис. 5в).

Полученные результаты хорошо согласуются с материалами, представленными в работах [2, 6], когда в качестве инструмента использовался индентор из синтетического алмаза АСБ-1.

Увеличение скорости выглаживания с 22,8 м/мин до 90,4 м/мин при использовании индентора с натуральным алмазом приводит, как видно из рис. 5г, к незначительному увеличению шероховатости поверхности. В то же время примерно аналогичное возрастание скорости выглаживания при работе синтетическим алмазом наоборот способствует небольшому снижению шероховатости поверхности [2, 6].

Более сложный характер имеет зависимость шероховатости поверхности от силы выглаживания  $P_y$  (рис. 5д).

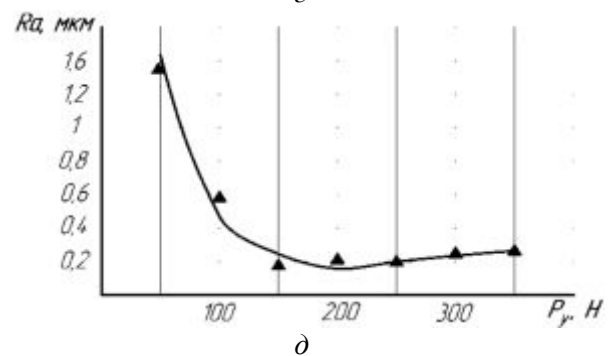
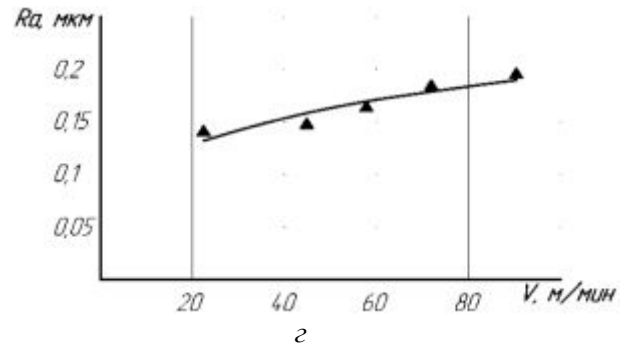
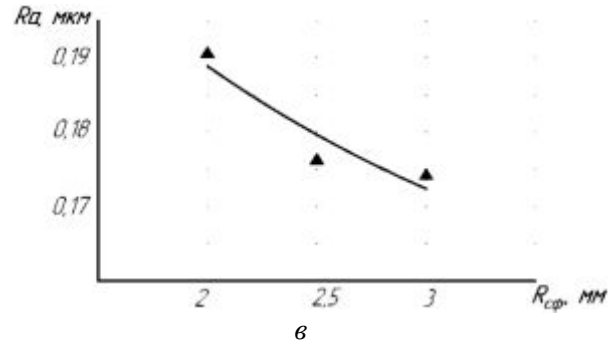
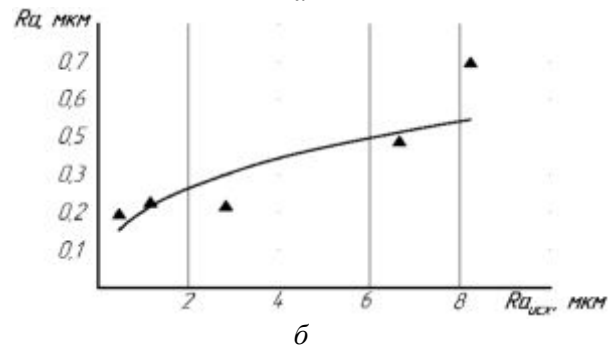
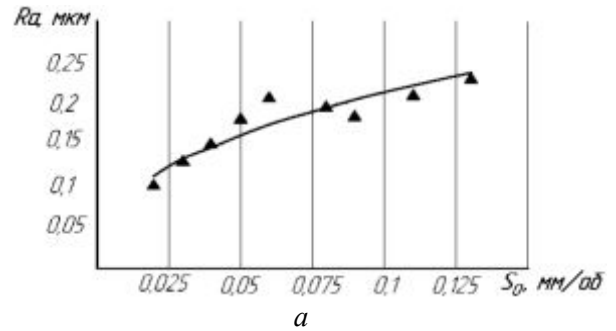


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности от подачи (а), исходной шероховатости (б), радиуса индентора (в), скорости (г) и силы (д) выглаживания:

— - аппроксимированные данные;  
 ▲ - экспериментальные данные

Как видно из рисунка, с ростом силы выглаживания от 50 до 200 Н шероховатость поверхности интенсивно уменьшается, а дальнейшее увеличение силы выглаживания до 350 Н приводит к незначительному её росту. При работе индентором с синтетическим алмазом зависимость  $Ra = f(P_y)$  имеет несколько иной вид [2,6]. При увеличении силы  $P_y$  до 200 Н шероховатость поверхности также уменьшается, однако дальнейшее увеличение силы выглаживания приводит к её интенсивному росту.

Как видно из представленных на рис.5 зависимостей, характер их изменения в основном аналогичен характеру изменения зависимостей, представленных в [2, 6].

По результатам экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости, связывающие шероховатость поверхности ( $Ra$ ) с параметрами процесса алмазного выглаживания:

- при силе выглаживания от 50 до 200 Н

$$Ra = 450 \cdot S^{0,4} \cdot P_y^{-1,61} \cdot Ra_{исх}^{0,37} \cdot R^{-0,23} \cdot v^{0,26};$$

- при силе выглаживания свыше 200 до 350 Н

$$Ra = 450 \cdot S^{0,4} \cdot P_y^{0,71} \cdot Ra_{исх}^{0,37} \cdot R^{-0,23} \cdot v^{0,26}.$$

**Заключение.** Исследование показало, что применение натуральных алмазов не всегда является оправданным ввиду того, что при работе на интенсивных режимах при обработке некоторых материалов, например стали 15X12H2МВФАБ-Ш, они не обеспечивают требуемой шероховатости поверхности. Это может быть

обусловлено различием свойств натуральных и синтетических алмазов.

Как известно синтетические алмазы баллас (АСБ) являются прочно сцементированной массой достаточно совершенных мелких кристаллов. Мелкие кристаллы по своей форме близки к идеальным и поэтому их механические свойства очень высоки, при этом работоспособность синтетических алмазов АСБ находится на уровне работоспособности натуральных алмазов, а в ряде случаев даже превосходит её [3].

### Выводы

1. Получены эмпирические зависимости, связывающие параметры процесса алмазного выглаживания с величиной среднеарифметического отклонения профиля при обработке образца из стали 15X12H2МВФАБ-Ш натуральным алмазом.

2. В условиях закрепления образца в центрах появляется возможность возникновения макрорельефа на выглаженной поверхности, что обусловлено невысокой жёсткостью технологической системы и созданию условий приводящих к возникновению автоколебаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г. (шифр темы 2013-218-04-4777), финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и Министерства образования и науки Самарской области (Губернский грант №316р от 27.06.2014 г.).

### Библиографический список

1. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. М.: Машиностроение, 1972. 105 с.
2. Швецов А.Н., Скуратов Д.Л. Исследование шероховатости поверхности при алмазном выглаживании жаропрочной деформируемой стали 15X12H2МВФАБ-Ш // Сб. трудов V Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития». М.: Спутник +, 2012. С. 182-187.
3. Резников А.Н. и др. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник. М.: Машиностроение, 1977. 391 с.
4. Сидоров С.Ю., Скуратов Д.Л. Разработка математической модели для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания при изготовлении деталей авиационной техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета

(национального исследовательского университета). 2006. № 2(10), часть 2. С. 96-100.

5. Скуратов Д.Л., Швецов А.Н., Абульханов С.Р. Математическая модель для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания // Международный научно-технический форум, посвященный 100-летию ОАО «Кузнецов» и 70-летию СГАУ. Сб. тр. в 3-х томах. Т. 1. Материа-

лы круглых столов. Самара: СГАУ, 2012. С. 20-21.

6. Скуратов Д.Л., Швецов А.Н., Абульханов С.Р. Линейная математическая модель для определения рациональных условий обработки на операциях алмазного выглаживания при изготовлении деталей авиационной техники // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета (национального исследовательского университета). 2012. № 3(34), часть 1. С. 115-121.

### **Информация об авторах**

**Швецов Алексей Николаевич**, ассистент, ассистент кафедры механической обработки материалов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [shvecovalexey@yandex.ru](mailto:shvecovalexey@yandex.ru). Область научных интересов: процессы поверхностно-пластического деформирования материалов.

**Скуратов Дмитрий Леонидович**, доктор технических наук, профессор, заведую-

щий кафедрой механической обработки материалов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [skuratov.sdl56@yandex.ru](mailto:skuratov.sdl56@yandex.ru). Область научных интересов: структурно-параметрическая оптимизация технологических процессов механической обработки, процессы абразивной обработки и поверхностно-пластического деформирования.

## **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE DIAMOND BURNISHING PROCESS PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF A STEEL 15Cr12Ni2MoVWaNb-S WORKPIECE WHEN USING AN INDENTER MADE OF NATURAL DIAMOND**

© 2014 A. N. Shvetsov, D. L. Skuratov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

The paper presents the results of analyzing the process of diamond burnishing of a sample made of heat-resistant wrought steel 15Cr12Ni2MoVWaNb-S using an indenter made of natural diamond OST2 I77-5-75. Burnishing of the sample was carried out after previous turning. The process of turning was carried out by a carbide cutting tool with a mark T15K6 plate with the test sample fixed in a holder with the snap-action tailstock center. Burnishing was performed using two different methods of fixing the sample (in the centers and in a three-jaw chuck with a snap-action tailstock center). The roughness parameters were measured using the automated profilograph-profilometer of the BV-7669 model. The studies have shown the possibility of macrorelief formation on the burnished surface if the sample was machined in the centers and its absence if the sample was machined in the holder with a snap-action tailstock center. In order to obtain the empirical relationships linking the surface roughness with the diamond burnishing process parameters (pressing force, speed, feed, the initial peak-to-trough height and the radius of the diamond burnishing tool) a series of single-factor experiments treated with the use of the method of least squares was carried out. The results obtained correlate well with the experimental results previously obtained in studying the process of diamond burnishing with the use of a diamond burnishing tool made of synthetic diamond ASB-1.

*Diamond burnishing, burnishing process parameters, natural diamond, macrorelief, surface roughness.*

### References

1. Torbilo V.M. Almaznoe vyglazhivanie [Diamond burnishing]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1972. 105 p.
2. Shvetsov A.N., Skuratov D.L. Investigation of surface roughness in diamond burnishing of heat-resistant wrought steel 15Cr12Ni2MoVWVW-Nb-S // V International Research and Practical Conference "Engineering and technology: new prospects." Moscow: Sputnik + Publ., 2012. P. 182-187. (In Russ.)
3. Reznikov A.N. et al. Abrazivnaya i almaznaya obrabotka materialov: spravochnik [Abrasive and diamond machining of materials: reference guide]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1977. 391 p.
4. Sidorov S.U., Skuratov D.L. Development of mathematic model for determination of rational process FNG environments on diamond burnishing operations used for manufactured parts of aerospace technics // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2006 No. 2(10), part 2. P. 96-100. (In Russ.)
5. Skuratov D.L. Shvetsov A.N., Abulkhanov S.R. Mathematical model for the determining of rational processing conditions on the operations for diamond smoothing // Mezhdunarodnyy nauchno-tehnicheskiy forum, posvyashchenny 100-letiyu OAO «Kuznetsov» i 70-letiyu SSAU. Sb. tr. v 3-kh tomakh. T. 1. Materialy kruglykh stolov. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2012. P. 20-21. (In Russ.)
6. Skuratov D.L. Shvetsov A.N., Abulkhanov S.R. Linear mathematical model for the determination of rational machining conditions for diamond burnishing operations in the manufacture of aircraft parts // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2012. No. 3(34), part. 1. P. 115-121. (In Russ.)

### About the authors

**Shvetsov Alexey Nikolaevich**, teaching assistant of the Department of Mechanical Treatment of Materials, Samara State Aerospace University. E-mail: shvecovalexey@yandex.ru. Area of Research: processes related to surface plastic strain of materials.

**Skuratov Dmitry Leonidovich**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the

Department of Mechanical Treatment of Materials, Samara State Aerospace University. E-mail: [skuratov.sdl56@yandex.ru](mailto:skuratov.sdl56@yandex.ru). Area of Research: structure and parameter optimization of processes related to mechanical operations, abrasive machining, and surface plastic strain.