

ПАРАМЕТРЫ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТУРЫ ПОСЛЕ ХОНИНГОВАНИЯ

И.Н. Бобровский

Самарский научный центр РАН, г. Самара, Россия

Ресурс агрегатов зависит от условий работы узлов, состоящих из взаимодействующих деталей, формирующих пары трения. Условия контактирования определяются параметрами шероховатости трущихся поверхностей, формируемых финишной механической обработкой. Один из распространённых процессов финишной обработки – хонингование. В конструкторско-технологической документации при назначении операций хонингования нормируются параметры макро- (возможно исправление формы) и микрогеометрии. Традиционно обозначаемая термином «шероховатость» группа параметров, характеризующих микрогеометрию, в настоящее время определяется термином «текстура» поверхности в современных стандартах.

Модернизация производства с использованием концепции «Индустрия 4.0» обозначена в стратегии научно-технологического развития Российской Федерации как «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям». Для области «Технологии машиностроения» данный приоритет обуславливает необходимость в достоверных моделях, отражающих технологические процессы, включая целевые функции и их оценку (формообразование – погрешности формы, шероховатость – параметры шероховатости) каждого из технологических процессов для включения в дальнейшем данных процессов в единую государственную информационную систему контроля за производственными цепочками, разрабатываемую в настоящее время в Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации. Экономическая целесообразность развития данного направления связана с ростом вклада государства (госкомпаний) в ВВП с 35 % в 2005 году до 70 % в 2015 году, согласно данным Федеральной антимонопольной службы Российской Федерации. Какие параметры микрогеометрии применяются исследователями для оценки получаемой поверхности после хонингования при проведении экспериментальных исследований и при построении моделей и какие параметры являются приоритетными для машиностроительных предприятий, рассмотрено в данной статье.

Приведен обзор публикаций в области хонингования включая анализ нормируемых исследователями параметров текстуры. Рассмотрены основные пути развития хонингования, в части нормирования параметров, получаемых после обработки.

Ключевые слова: шероховатость, текстура, поверхность, хонингование.

Введение

Хонингование (иногда называемое притирочным шлифованием) применяется для финишной обработки цилиндрических отверстий и режущих поверхностей в связи с высокой производительностью и достигнутыми технико-экономическими показателями, обеспеченными длительным опытом изучения [1, 2]. Название процесса происходит от наименования инструмента – хона (нем. honing – хонингование). Оценка множества технологических решений, направленных на формирование топографии поверхности, разработанных и разрабатываемых, возможна только при использовании комплекса параметров, характеризующих микрогеометрию детали.

1. О нормировании параметров поверхности

Увеличение количества параметров, численно характеризующих микрогеометрию (текстуру) поверхности, обусловлено ростом требований к стабильности и качеству продукции: рост количества оцениваемых параметров в методиках связан с ростом возможностей управления технологическими процессами, вызванными необходимостью повышения износостойкости обрабатываемых поверхностей для повышения технико-экономических параметров изделий.

Комплексное исследование нормируемых в конструкторской документации параметров и технологического обеспечения их достижимости дает синергетический эффект. Исследование

технологических аспектов без обеспечения возможности проверки соответствия современным требованиям ограничивает применимость разрабатываемых решений. В публикации [3] указывается на необоснованность введения множества параметров (в настоящее время – несколько сотен). В дальнейшем автором представлен ряд параметров текстуры поверхности, которые необходимо использовать при переходе от микроуровня к наноуровню измерений [4].

Вопрос выбора значимых параметров для любого технологического процесса является отдельной областью и в рамках данной статьи не рассматривается. Выбор необходимых параметров из числа вновь вводимых требует применения методик, основанных на применении одного из методов непараметрической статистики – бутстрэпа [5], апробированного при выборе наиболее значимых параметров микрогеометрии при прокатке [6, 7].

2. Характеризация поверхности после хонингования в экспериментальных исследованиях

Анализ публикаций по хонингованию выполнен с точки зрения нормируемых авторами параметров, позволяющих оценить эффективность предлагаемых технологических решений. В статье А.П. Минакова и др. [8] предложено при ремонте гильз дизельных ДВС использовать тонкое ППД вместо платовершинного хонингования. Предлагается в случае капитального ремонта двигателя менее ресурсоемкого, чем производство нового двигателя, использовать тонкое ППД. Критерием необходимости ремонта указано превышение расхода масла на угар. Используется классификация поверхностей, разработанная Я.А. Рудзитом [9], изотропные и неизотропные поверхности. Применение тонкого ППД позволяет снизить объем выбросов в зоне работы ЦПГ. Имитация износа, выполненная авторами по методике искусственных баз, позволила выделить оптимальный профиль, получаемый при вибронакатывании с микрорельефом. При этом не указаны ни технологические режимы процесса Хг, ни примененный инструмент. В статье не рассмотрены возникающие при ППД эффекты перераспределения материалов, из параметров микрогеометрии использованы только R_a и t_p , затрудняющие оценку эффективности предложенной технологии. Указаны геометрические характеристики сетки, образуемой на поверхности зеркала БЦ: глубина 1,5...5 мкм, ширина 10...70 мкм, «шероховатость поверхности гильзы 0,63...0,25», маслосъемность рабочей поверхности 0,008...0,041 мм³/см². Маслосъемность определена в соответствии с национальным стандартом DIN 4776 (Германия), не ISO. Ценность статьи заключается в описании эффекта, получаемого при обработке ППД вместо Хг: локальное воздействие деформируемых шаров в автоколебательном режиме, способствует увеличению плоскостей скольжения в блоках в различных направлениях и уменьшению развития очагов деформации. На макроуровне это проявляется в большей цельности, неразрушенности обработанной поверхности, «залечивании» микротрещин от Хг при тонком ППД. Стендовые испытания проведены авторами по ГОСТ 18509-88 [10] в рамках 60-часовой программы. Полученные в данной статье результаты в дальнейшем сравниваются с результатами, полученными иными авторами и в рамках данной работы.

Совмещение технологических процессов с дополнительными эффектами, такими как ультразвук или иным источником вибрационной активности, изменяет модель формирования текстуры деталей как при ППД, так и при Хг. В статье А.С. Сыроева, С.К. Сыроева и др. [11] приведены результаты использования инструмента на эластичной связке, вибрирующего с частотой до 30 Гц и амплитудой до 2 мм, указано, что «шероховатость» уменьшается с 5...7 мкм до 0,2 мкм. Способ назван хонингованием эластичным притиром с наложением вибраций (ЭЛХОИ). Область применения результата – трубопроводы жидкости и газа, волноводы миллиметрового диапазона для передачи энергии сверхвысоких частот и др. Авторами представлена эмпирическая зависимость получения параметра R_a для трех зон а, б, с для боковой и основной поверхности образца. Сделан вывод об определяющей роли зернистости абразива для отделочного этапа обработки Хг.

Также совмещение химических и технологических эффектов применяется в технологии вибрационного электрохимического хонингования (ВЭХХ). Разработанная модель Л.И. Обориной и др. [12] позволяет автоматизировать обработку (выбор технологических параметров ВЭХХ) на основе геометрических параметров поверхности (зеркала). Обработанная поверхность описывается только параметром R_a , задача методики – расчет параметров инструмента, необходимого для реализации заданных технологических параметров.

В статье О.А. Курсина и др. [13] применяется добавка водорода в поверхностный слой заготовки и оценивается влияние фактора на микрогеометрию. Область применения – низкоуглеродистые морозо- и коррозионностойкие стали с низкой твердостью для нефтяной, химической и пищевой промышленности. Проблема – высокая пластичность способствует пластической деформации и обуславливает необходимость трудоемких операций доводки. Насыщение поверхности нержавеющей стали 12х18Н10Т водородом, поступающим в атомарном состоянии и переходящим в молекулярное, увеличивает объем и «разжимает» поверхность изнутри. Авторами выполнена оценка только по параметру Ra без добавки водорода 1,35 мкм, с добавкой 0,85 мкм.

Оценка влияния твердости обрабатываемой поверхности рассматривается в некоторых других публикациях, например, в статье Ю.Н. Полянчикова, М.Ю. Полянчиковой и др. [14]. Предложено применение опережающего пластического деформирования перед Хг, оценка выполнена только по параметру Ra, авторами получены значения 1,3 мкм без пластической деформации, 0,88 мкм с давлением 23 МПа и 0,65 мкм с давлением 36 МПа. Авторами также указано положительное влияние опережающего ПД при обработке Хг с возрастающей скоростью, связанное с образованием мартенсита при ППД, повышающем твердость заготовки до 60 %.

Проблему совпадения следов обработки и образующейся некруглости и конусообразности Р.Г. Кудояров [15] предлагает решать с помощью автоматизированного устройства для Хг, работающего по алгоритму, обеспечивающему несовпадение следов обработки и поддержание постоянства угла сетки рисков. Автором выделены наиболее важными следующие технологические параметры: скорости вращательного и поступательного движения шпинделя, осевая сила разжима брусков (давление), значение перебега брусков относительно верхней точки обрабатываемого отверстия, количество двойных ходов инструмента. Алгоритмом предусмотрено два рабочих этапа: основной сьем металла и формирование текстуры поверхности (как и в платовершинном хонинговании). Шероховатость оценивалась только по параметру Ra и составляла не более 0,2 мкм. Контроль износа брусков предложен только органолептический, отмечена важность состояния инструмента как фактора стабильности и точности процесса.

Технологические методы повышения точности обработки при Хг рассматриваются в статье К.Р. Муратова, Е.А. Гашева [16]. Авторами предлагается при сквозном хонинговании отверстия с двух сторон путем периодического переворачивания детали обеспечивать взаимную правку инструмента/детали и стабилизировать точность формы, применить эластичные бруски на каучуковой связке.

В статье В.К. Перевозникова [17] рассматривается процесс Хг цилиндров скважинных насосов перед азотированием. Авторами установлено, что зернистость и время Хг наиболее сильно влияют на получаемую текстуру. Указано, что бруски на жесткой связке плохо прилегают к обрабатываемой поверхности и не подходят для создания «несущих» поверхностей (т. е. поверхностей с определенным сочетанием численных значений параметров группы Rk, соответствующих платоструктуре). Авторами предложено использовать эластичные бруски. Концентрация алмазов, угол сетки Хг, время оказывают малое влияние на текстуру поверхности.

В статье А.А. Долинина и В.Э. Крылова [18] рассмотрен вопрос кинематики Хг полуэластичными брусками. Применен термин «равновесная» шероховатость, характеризующаяся глубокими впадинами и большой опорной поверхностью. Авторами также применен термин «вершинное» хонингование. Сделан вывод о незначительном влиянии кинематики Хг на формирование параметров текстуры. Особое внимание уделено эффекту совпадения вектора увеличения скорости вращения Хг головки и опорной длины профиля до определенного предела, после которого опорная длина уменьшается при увеличении скорости. Данный эффект объясняется увеличением интенсивности обработки при увеличении частоты вращения – каждая частица инструмента контактирует большее количество раз с каждой частицей поверхности, и исходный профиль, формируемый на первом этапе полностью вычитается.

В статье В.А. Огородова [19] рассматривается случай обработки глухих отверстий. Отсутствие выбега брусков за верхнюю точку отверстия обуславливает малое число контактов между частицами поверхности и инструментом, исправление отклонений профиля в данной области не

происходит. Предложено изменение кинематики процесса, а именно увеличение скорости хонинговальной головки у дна отверстия, что позволило уменьшить овальность и отклонение от профиля продольного сечения, применены трапецевидные бруски.

В статье В.А. Ворожейкина, А.С. Сысоева и др. [20] рассмотрено экструзионное хонингование. Рабочая смесь под действием силы проталкивается через каналы в детали, формируя ее текстуру. На входе детали формируется сжатый абразивный жгут следующий контуру канала. Перепады давлений на входе и выходе из канала приводили к вычитанию большего припуска на входе в канал. Авторами установлено, что увеличение содержания абразива увеличивает конусность при уменьшении длины канала.

В статье П.Г. Учкина [21] описан опыт ремонта цилиндра пускового двигателя. Показано влияние давления и времени обработки на формируемую текстуру, оценивался только параметр Ra.

3. Характеризация поверхности после хонингования в моделях

В большинстве публикаций по тематике моделирования Хг задача оптимизации решается с помощью построения теоретико-эмпирических моделей с применением, например, известного метода Тагучи [22] для определения оптимальных режимов работы при различных технологических параметрах [23, 24] или метода нейронных сетей [25].

Применяются методы анализа поверхности отклика для установления влияния технологических параметров на микрогеометрические, но рассматривается только параметр Ra [26, 27]. Развитие вычислительной техники, в частности программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений на базе графических процессоров, позволило моделировать формирование микрогеометрии в достаточном объеме в последние 10 лет. Объектом моделирования являются составляющие текстуры поверхности, характеризующиеся макрогеометрическими и микрогеометрическими параметрами.

Модель В.А. Огородова [28] является макрогеометрической – дискретно обрабатываемая поверхность, контактирующая с отдельными абразивными зёрнами хонинговального бруска. Получены зависимости, отражающие съём припуска от времени. Модель отнесена к макрогеометрическим так как оценивались только параметры отклонения формы (овальность, некруглость), расчёт выполнен в среде Matlab. Схожая по схеме моделирования взаимодействия отдельных зёрен модель разработана Т.Ф. Пепляевой, В.Ю. Иванкиным [29]. Рассчитываются стандартные по ГОСТ 2789-73 параметры: Ra, Rz, Rmax, Sm, S, tr. Авторы пришли к выводу, что «параметр Ra после некоторого времени стремится к постоянному значению» и «чем больше размер зёрна, тем выше значение параметра Ra», при этом отсутствие в модели возможности комплексной оценки получаемой текстуры не позволило авторам объяснить причину снижения скорости изменения Ra в связи с недостаточной отраженностью в модели параметров, характеризующих механику процесса Хг. Однако примечательно, что в последующей статье [30] авторы упоминают неоднородность численных значений параметров текстуры, т. е. анизотропию поверхности, в международных стандартах представленную отдельным критерием.

В микрогеометрической модели В.А. Иванова, А.В. Иванова [31] рассматривается формируемая при Хг скважинных штанговых насосов поверхность. Факторы, потребовавшие разработку модели, схожи с парой трения «блок цилиндров – поршень» – скорость износа поверхности плунжера насоса меньше, чем у поверхности цилиндра. Авторы утверждают, что модели, основанные на транспонировании взаимодействия отдельного зёрна на всю поверхность, не точны. Представлена «реальная» математическая модель, включающая 3 этапа: построение профиля инструмента, имитация снятия припуска, расчёт параметров по ГОСТ 25142-82 [32]. Неизвестно, почему указан ГОСТ, содержащий номенклатуру терминов, а не ГОСТ 2789-73 [33] определяющий применяемые параметры. Входными параметрами модели являются ширина и длина бруска, а также зернистость и концентрация зёрен; параметры микрогеометрии оцениваются только по Ra, Rz, Sm, в качестве допущения отсутствует учёт исходной микрогеометрии заготовки. В следующей статье по модели В.А. Иванова и А.В. Иванова [34] авторами показана удовлетворительная сходимость с результатами экспериментальных исследований, указано, что расхождение в уровне сечения при одинаковом значении tr не превышает 10 %.

Сводные данные по применимости параметров в моделях представлены в таблице.

Примененные авторами параметры

Авторы	Нормируемые параметры текстуры				
	Ra	Rz	Rmax	tp	Sm
П.Г. Учкин	+	–	–	–	–
А.С. Сысоев, С.К. Сысоев, В.А. Левко, П.А. Снетков, Л.В. Зверинцева	+	–	–	–	–
Л.И. Обороина, И.В. Трифанов, Д.Р. Рыжов, Б.Н. Исмаилов, С.М. Берсенев	+	–	–	–	–
О.А. Курсин, Н.И. Егоров, И.Ф. Кожемякин, И.С. Филатов, М.Ю. Полянчикова, С.Ч. Као	+	–	–	–	–
Ю.Н. Полянчиков, О.А. Курсин, Д.А. Мартус, М.Ю. Полянчикова, Н.И. Егоров	+	–	–	–	–
Р.Г. Кудояров	+	–	–	–	–
А.П. Минаков, М.Е. Лустенков, Е.В. Ильюшина, К.А. Бычинский	+	–	–	+	–
В.А. Иванов, А.В. Иванов	+	+	–	+	–
В.К. Перевозников, А.В. Иванов, А.А. Долинин	+	+	+	+	–
Т.Ф. Пепеляева, В.Ю. Иванкин	+	+	+	+	+

4. Выводы

Одним из наиболее распространённых методов хонингования является платовершинное хонингование, используемое, например, при обработке внутренней цилиндрической поверхности блока цилиндров двигателей внутреннего сгорания.

Нормируемые зарубежными и отечественными (ПАО «АВТОВАЗ», ПАО «КАМАЗ» и др.) производителями параметры группы Rk позволяют оценить соответствие получаемой текстуры требуемой, а именно содержащей совокупность плоских вершин для минимизации времени приработки и впадин для создания масляных карманов. Данный микрорельеф способствует снижению уровня дефектов в гарантийный период.

В зарубежных публикациях по тематике хонингования, отражающих результаты экспериментальных исследований, параметры Rk широко применяются, однако при этом в моделях хонингования данные параметры не представлены. В отечественных публикациях ни в моделях, ни при оценке результатов экспериментальных исследований данные параметры не оцениваются и не прогнозируются.

5. Обсуждение и применение

Невозможно выполнить сравнение достигаемых отечественными исследователями значений при помощи различных вводимых технологических решений, описанных в статье, с требованиями к реализуемым на мировых рынках, так как в отечественных публикациях отсутствуют данные о требованиях к группе нормируемых параметров Rk.

Отсутствие актуальной информации (малое количество исследователей из области машиностроения осведомлены о современных параметрах) негативно влияет на распространение описанных технических решений, не смотря на то, что актуальные параметры могут быть получены на большинстве реализуемых в РФ профилографах.

Вводимые в настоящее время 3D параметры рассматриваются в единичных публикациях, в связи с высокой стоимостью устройств для анализа топографии. Перспективен переход к трехмерным параметрам, затрудненный отсутствием материальной базы на большинстве предприятий. Одним из решений проблемы является разработка метода, позволяющего с помощью профилографа получить трехмерный профиль детали для оценки трехмерных параметров (не имеющих аналогов в прежних стандартах), отражающих функциональные свойства изделия и конкурентоспособность продукции.

Литература

1. ASME B46.1. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*. – The American Society of Mechanical Engineers, 2009. – 124 p.
2. ISO 25178-2:2012. *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal, Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters*. 2012. – 47 p.
3. Whitehouse, D.J. The parameter rash – is there a cure? / D.J. Whitehouse // *Wear*. – 1982. – Vol. 83. – No. 1. – P. 75–78.
4. David, J. *Whitehouse: Handbook of Surface and Nanometrology* / J. David. – CRC Press, 2002. 1150 p.
5. Шитиков В.К. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг. – Тольятти: Кассандра, 2013. – 314 с.
6. Deltombe, R. How to select the most relevant 3D roughness parameters of a surface / R. Deltombe, K.J. Kubiak, M. Bigerelle // *Published in Scanning*. – 2013. – Vol. 36. – Iss. 1. – P. 150–160. DOI: 10.1002/sca.21113
7. Efron, B. *Computers and the theory of statistics: thinking the unthinkable* / B. Efron // *SIAM Review*. – 1979. – Vol. 21, no. 4. – P. 460–480.
8. Новый эффективный способ ремонта гильз дизельных двигателей внутреннего сгорания тонким поверхностным пластическим деформированием / А.П. Минаков, М.Е. Лустенков, Е.В. Ильюшина, К.А. Бычинский // *Вестник Белорус.-Рос. ун-та*. – 2013. – № 1 (38). – С. 27–37.
9. Рудзит, Я.А. *Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей* / Я.А. Рудзит. – Рига, 1975.
10. ГОСТ 18509-88. *Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний*. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1988. – 128 с.
11. Исследование процесса хонингования заготовок трубопроводов для летательных аппаратов / А.С. Сысоев, С.К. Сысоев, В.А. Левко и др. // *Вестник Сибир. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева*. – 2005. – № 3. – С. 248–252.
12. Расчет параметров процесса удаления дефектного слоя с рабочей поверхности зеркал лучеводов вибрационным электрическим хонингованием / Л.И. Оборина, И.В. Трифанов, Д.Р. Рыжов и др. // *Фундамент. исследования*. – 2013. – № 8. – С. 295–301.
13. Влияние присутствия водорода в поверхностном слое заготовки на микрогеометрию поверхности при финишной абразивной обработке / О.А. Курсин, Н.И. Егоров, И.Ф. Кожемякин и др. // *Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та*. – 2013. – Т. 10, № 20(123). – С. 33–35.
14. Исследование влияния твердости обрабатываемого материала на качество поверхности при хонинговании / Ю.Н. Полянчиков, О.А. Курсин, Д.А. Мартус и др. // *Изв. Волгоград. гос. техн. ун-та*. – 2012. – № 13. – С. 51–54.
15. Кудояров, Р.Г. Особенности алмазного хонингования при изготовлении точных отверстий деталей авиационных агрегатов / Р.Г. Кудояров // *Изв. вузов. Авиаци. техника*. – 2002. – № 2. – С. 49–52.
16. Муратов, К.Р. Технологические методы повышения точности геометрической формы обрабатываемых отверстий при хонинговании / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. – 2012. – Т. 14, № 1–2. – С. 402–404.
17. Перевозников, В.К. Исследование влияния технологических параметров процесса алмазного хонингования на износостойкость рабочих пар скважинных штанговых насосов / В.К. Перевозников, А.В. Иванов, А.А. Долинин // *Вестник УГАТУ*. – 2009. – Т. 12, № 4 (33). – С. 127–131.
18. Долинин, А.А. Зависимость шероховатости поверхности от кинематики хонингования полуэластичными алмазными брусками / А.А. Долинин, В.Э. Крылова // *Журнал магистров*. – 2012. – № 01. – С. 98–101.
19. Огородов, В.А. Управление процессом алмазного хонингования / В.А. Огородов // *Вестник УГАТУ*. – 2008. – Т. 10, № 1 (26). – С. 122–127.
20. Изменение профиля каналов при экструзионном хонинговании / В.А. Ворожейкин, А.А. Гулло, А.Г. Луцикова, Л.П. Сысоева // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2012. – Т. 1, № 8. – С. 13–15.

21. Учкин, П.Г. Результаты исследования процесса хонингования цилиндра пускового двигателя ПД10М / П.Г. Учкин // *Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та.* – 2013. – № 1 (39). – С. 43–45.
22. Singh, R.V. Experimental study and modelling of the effect of process parameters on surface roughness during honing process / R.V. Singh, A.K. Raghav // *Journal of the Institution of Engineers (India), Part PR: Production Engineering Division.* – Delhi: Indian Institute of Technology. – 2010. – Vol. 90. – P. 3–7.
23. Neagu, C. Neural networks modelling of process parameters in honing of thermal engines' cylinders / C. Neagu, A. Dumitrescu // *Metalurgia International.* – Romania, Bucharest: University Politehnica of Bucharest. – 2008. – Vol. 13, iss. 5. – P. 66–78.
24. Modeling and optimizing honing texture for reduced friction in internal combustion engines / J. Jocsak, Y. Li, T. Tian, V.W. Wong // *SAE Technical Papers.* – Detroit, MI: 2006 SAE World Congress. 2006. DOI: 10.4271/2006-01-0647
25. Threefold vs. fivefold cross validation in one-hidden-layer and two-hidden-layer predictive neural network modeling of machining surface roughness data / C.-X. Jack Feng, Z.-G.S. Yu, U. Kingi, M. Perwaiz Baig // *Journal of Manufacturing Systems. United States, Peoria, IL: Dept. of Industrial and Manufacturing Engineering and Technology.* – Bradley University. – 2005. – Vol. 24, iss. 2. – P. 93–107. DOI: 10.1016/S0278-6125(05)80010-X
26. Tripathi, B.N. Surface roughness influencing process parameters & modeling techniques for four stroke motor bike cylinder liners during honing: Review / B.N. Tripathi, N.K. Singh, U.K. Vates // *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering.* – 2015. – Vol. 15, iss. 1. – P. 106–112.
27. Silva, S.P. Evaluation of quality of steering systems using the honing process and surface response methodology / S.P. Silva, L.C. Brandao, R.F. Pimenta Pereira // *Advanced Materials Research.* – Portugal, Sintra: 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. – 2011. – Vol. 223. – P. 821–825. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.223.821
28. Огородов, В.А. Имитационная модель процесса алмазного хонингования / В.А. Огородов // *Вестник УГАТУ.* – 2010. – Т. 14, № 4 (39). – С. 60–68.
29. Пепеляева, Т.Ф. Моделирование взаимодействия поверхностей при хонинговании / Т.Ф. Пепеляева, В.Ю. Иванкин // *Глобал. науч. потенциал.* – 2014. – № 8 (41). – С. 112–115.
30. Иванкин, В.Ю. Методика конструирования поверхности по заданным параметрам шероховатости / В.Ю. Иванкин, Т.Ф. Пепеляева // *Перспективы науки.* – 2014. – № 3 (54). – С. 73–75.
31. Иванов, В.А. Разработка математической модели прогнозирования параметров шероховатости хонингуемой поверхности цилиндров скважинных штанговых насосов / В.А. Иванов, А.В. Иванов // *Вестник Перм. нац. исследоват. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение.* – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 48–53.
32. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.
33. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 7 с.
34. Математическое моделирование формирования шероховатости поверхности при алмазном хонинговании брусками на металлических связках / В.А. Иванов, А.В. Иванов, А.А. Долинин, О.А. Халтурин // *Вестник УГАТУ.* – 2011. – Т. 15, № 2 (42). – С. 82–87.

Бобровский Игорь Николаевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела металлофизики и авиационных материалов, Самарский научный центр РАН, г. Самара, bobri@yandex.ru.

Поступила в редакцию 5 сентября 2017 г.

THE CHARACTERIZATION PARAMETERS OF THE TEXTURE AFTER HONING

I.N. Bobrovskij, bobri@yandex.ru

Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russian Federation

The resource of aggregates depends on the operating conditions of the assemblies consisting of interacting parts that form a friction pairs. The conditions for contacting are determined by the parameters of the roughness of friction surfaces formed by finishing machining. Honing is one of the most common finishing processes. In the design and technological documentation for the appointment of honing operations, the macro parameters (correction of form) and microgeometry are normalized. Traditionally, the term “roughness” refers to a group of parameters characterizing microgeometry which currently defined by the term “texture” of the surface in modern standards.

Modernization of production using the concept “Industry 4.0”, is outlined in the strategy of scientific and technological development of the Russian Federation as “the transition to advanced digital, intelligent production technologies”. For the field of “Machine-building technologies” this priority calls for the need for reliable models reflecting technological processes, including objective functions and their evaluation (shaping – shape inaccuracy, roughness – roughness parameters) of each technological process to include these processes in a single state information system control over production chains, currently being developed in the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation. The economic feasibility of the development of this direction is associated with an increase in the contribution of the state (state-owned companies) to GDP from 35 % in 2005 to 70 % in 2015, according to the data of the Federal Antimonopoly Service of the Russian Federation. In this article is considered what parameters of microgeometry are used by researchers to evaluate the resulting surface after honing during experimental studies and when constructing models and what parameters are the priority for machine-building enterprises.

A review of publications in the field of honing is presented, including an analysis of texture parameters normalized by researchers. The main ways of development of honing are considered, in part of the normalization of the parameters obtained after processing.

Keywords: roughness, texture, surface, honing.

References

1. ASME B46.1. Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay). *The American Society of Mechanical Engineers*, 2009, 124 p.
2. ISO 25178-2:2012. *Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture: Areal, Part 2: Terms, Definitions and Surface Texture Parameters*, 2012. 47 p.
3. Whitehouse D.J. The Parameter Rash – is there a Cure? *Wear*, 1982, vol. 83, no. 1, pp. 75–78.
4. David J. Whitehouse, Handbook of Surface and Nanometrology. *CRC Press*, 2002. 1150 p.
5. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. *Randomizacija i bootstrap: statisticheskij analiz v biologii i ekologii s ispol'zovaniem R* [Randomization and Bootstrap: Statistical Analysis in Biology and Ecology Using R]. Togliatti, Kassandra, 2013. 314 p.
6. Deltombe R., Kubiak K.J., Bigerelle M. How to Select the Most Relevant 3D Roughness Parameters of a Surface. *Scanning*, 2013, vol. 36, iss. 1, pp. 150–160. DOI: 10.1002/sca.21113
7. Efron B. Computers and the Theory of Statistics: Thinking the Unthinkable. *SIAM Review*, 1979, vol. 21, no. 4, pp. 460–480.
8. Minakov A.P., Lustenkov M.E., Il'yushina E.V., Bychinskiy K.A. [A New Effective Method for Repairing Cylinder Sleeves of Diesel Engines by Using Fine Surface Plastic Deformation]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo Universiteta*, 2013, no. 1 (38), pp. 27–37. (in Russ.)
9. Rudzit Ja.A. *Mikrogeometriya i kontaktное взаимодействие поверхностей* [Microgeometry and Contact Interaction of Surfaces]. Riga, 1975. (in Russ.)
10. GOST 18509-88. *Dizeli traktornye i kombaynovye. Metody stendovykh ispytaniy* [Tractor and

Combine Diesels. Methods of bench tests]. Moscow, Gosudarstvennyy Komitet SSSR po Standartam, 1988. 128 p.

11. Sysoev A.S., Sysoev S.K., Levko V.A., Snetkov P.A., Zverinceva L.V. [Research of the Process of the Honing Stoking up Pinelines for Aircraft]. *VestnikSibirskogoGosudarstvennogoAerokosmicheskogoUniversitetaImeniAkademika M.F. Reshetneva*, 2005, no. 3, pp. 248–252. (in Russ.)

12. Oborina L.I., Trifanov I.V., Ryzhov D.R., Ismaylov B.N., Bersenev S.M. [The Calculation Parameters of Process Removal Defective Layer with Surface Mirrors by Deam Guide Ehro]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no. 8, pp. 295–301. (in Russ.)

13. Kursin O.A., Egorov N.I., Kozhemjakin I.F., Filatov I.S., Poljanchikova M.Ju., Kao S.Ch. [Influence of the Presence of Hydrogen in the Surface Layer of the Billet on the Microgeometry of the Surface During Finishing Abrasion]. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2013, vol. 10, no. 20 (123), pp. 33–35. (in Russ.)

14. Polyanchikov Yu.N., Kursin O.A., Martus D.A., Polyanchikova M.Yu., Egorov N.I. [Investigation of the Influence of the Hardness of the Processed Material on the Quality of the Surface During Honing]. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2012, no. 13, pp. 51–54. (in Russ.)

15. Kudoyarov R.G. [Special Features of Diamond Honing in Manufacturing Exact Holes in Aircraft Units Parts]. *Izv.vuzov. AviacionnajaTehnika*, 2002, no. 2, pp. 49–52. (in Russ.)

16. Muratov K.R., Gashev E.A. [Technological Methods of Increasing the Accuracy of Geometrical Form of Processed Apertures at Honing]. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*, 2012, vol. 14, no. 1–2, pp. 402–404. (in Russ.)

17. Perevoznikov V.K., Ivanov A.V., Dolinin A.A. [Investigation of Influence of Technological Parameters of Process Diamond Honing on Wear Resistance of Working Pairs Borehole Sucker-Rod Pump]. *Vestnik UGATU*, 2009, vol. 12, no. 4 (33), pp. 127–131. (in Russ.)

18. Dolinin A.A., Krylova V.E. [Dependence of the Surface Roughness of Kinematics of Honing Using Semi-Elasticdiamond Hone-Stones]. *Zhurnal Magistrov*, 2012, No. 01, pp. 98–101. (in Russ.)

19. Ogorodov V.A. [The Control of the Diamond Honing]. *Vestnik UGATU*, 2008, vol. 10, no. 1 (26), pp. 122–127. (in Russ.)

20. Vorozheykin V.A., Gullo A.A., Lushchikova A.G., Sysoeva L.P. [Changing the Profile of Channels During Extrusion Honing]. *Aktual'nye Problemy Aviatsiii Kosmonavtiki*, 2012, vol. 1, no. 8, pp. 13–15. (in Russ.)

21. Uchkin P.G. [The Results of Studies on the Cylinder Honing Process of the PD10M Starting Engine]. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2013, no. 1 (39), pp. 43–45. (in Russ.)

22. Singh R.V., Raghav A.K. Experimental Study and Modelling of the Effect of Process Parameters on Surface Roughness During Honing Process. *Journal of the Institution of Engineers (India)*, Part PR: Production Engineering Division. Delhi: Indian Institute of Technology, 2010, vol. 90, pp. 3–7.

23. Neagu C., Dumitrescu A. Neural Networks Modelling of Process Parameters in Honing of Thermal Engines' Cylinders. *Metalurgia International. Romania*, Bucharest: University Politehnica of Bucharest. 2008, vol. 13, iss. 5, pp. 66–78.

24. Jocsak J., Li Y., Tian T., Wong V.W. Modeling and Optimizing Honing Texture for Reduced Friction in Internal Combustion Engines. *SAE Technical Papers*. Detroit, MI: 2006 SAE World Congress. 2006. DOI: 10.4271/2006-01-0647

25. Jack Feng C.-X., Yu Z.-G.S., Kingi U., Pervaiz Baig M. Threefold vs. Fivefold Cross Validation in One-hidden-layer and Two-hidden-layer Predictive Neural Network Modeling of Machining Surface Roughness Data. *Journal of Manufacturing Systems*. United States, Peoria, IL: Dept. of Industrial and Manufacturing Engineering and Technology, Bradley University. 2005, vol. 24, iss. 2, pp. 93–107. DOI: 10.1016/S0278-6125(05)80010-X

26. Tripathi B.N., Singh N.K., Vates U.K. Surface Roughness Influencing Process Parameters & Modeling Techniques for Four Stroke Motor Bike Cylinder Liners During Honing: Review. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2015, vol. 15, iss. 1, pp. 106–112.

27. Silva S.P., Brandao L.C., Pimenta Pereira R.F. Evaluation of Quality of Steering Systems Using the Honing Process and Surface Response Methodology. *Advanced Materials Research*. Portugal, Sintra:

17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, 2011, vol. 223, pp. 821–825. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.223.821

28. Ogorodov V.A. [The Simulation Model of the Diamond Honing Process]. *Vestnik UGATU*. – 2010, vol. 14, no. 4 (39), pp. 60–68. (in Russ.)

29. Pepelyaeva T.F., Ivankin V.Yu. [Simulation of Interaction of Surfaces under Honing]. *Global'nyy Nauchnyy Potentsial*, 2014, no. 8 (41), pp. 112–115. (in Russ.)

30. Pepelyaeva T.F., Ivankin V.Yu. [Method of Surface Design by Specified Roughness Parameters]. *Perspektivy Nauki*, 2014, no. 3 (54), pp. 73–75. (in Russ.)

31. Ivanov V.A., Ivanov A.V. [Development of a Mathematical Model for Predicting the Roughness Parameters of the Honed Surface of Cylinders of Borehole Rod Pumps]. *Vestnik Permskogo Natsional'nogo Issledovatel'skogo Politekhnicheskogo Universiteta. Mashinostroenie, Materialovedenie*, 2010, vol. 12, no. 3, pp. 48–53. (in Russ.)

32. *GOST 25142-82. Sherokhovatost' poverkhnosti. Terminy i opredeleniya* [Surface Roughness Terms and Definitions]. Moscow, Izdatel'stvo Standartov, 1982. 20 p. (in Russ.)

33. *GOST 2789-73. Sherokhovatost' poverkhnosti. Parametry i harakteristiki* [Surface Roughness Parameters and Characteristics]. Moscow, Izdatel'stvo Standartov, 1973. 7 p. (in Russ.)

34. Ivanov V.A., Ivanov A.V., Dolinin A.A., Halturin O.A. [Mathematical Simulation of Surface Roughness Formation at Diamond Honing by Hone-Stones on Metalcouplants]. *Vestnik UGATU*, 2011, vol. 15, no. 2 (42), pp. 82–87. (in Russ.)

Received 5 September 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Бобровский, И.Н. Параметры характеристики текстуры после хонингования / И.Н. Бобровский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 26–35. DOI: 10.14529/engin170303

FOR CITATION

Bobrovskij I.N. The Characterization Parameters of the Texture after Honing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 26–35. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin170303