

УДК 621.923

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

© 2013 А.М. Ханов, К.Р. Муратов, Е.А. Гашев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Поступила в редакцию 19.03.2013

Исследован процесс хонингования деталей из стали 95X18 на станке «Растр-Ц20». Представлены результаты сравнительных экспериментов.

Ключевые слова: хонингование, «Растр-Ц20», производительность, шероховатость, поверхность, скорость резания, контактное давление

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) на базе механико-технологического факультета проведены исследования технологических возможностей растрового метода хонингования, отличающегося от традиционного метода сложной и неповторяющейся траекторией рабочего движения инструмента, параметры которой можно тонко регулировать в широком диапазоне [1, 2]. Хонингование высокоточных деталей типа «гильза золотника» из стали 95X18 с твердостью  $HRc \geq 57$  осуществлялось на хонинговально-доводочном станке «Растр-Ц20», разработанным и изготовленным в ПНИПУ [3, 4]. Диаметр обрабатываемого отверстия 10 мм, длина 48 и 60 мм. Форма обрабатываемого отверстия характеризуется достаточно большим соотношением длины и диаметра (5:1) а также наличием все возможных пересечений, кольцевых выточек и радиальных отверстий (рис. 1).

По техническим требованиям после операции предварительного хонингования погрешности геометрической формы отверстия в деталях типа «гильза золотника» не должны превышать 0,004-0,005 мм, шероховатость  $Ra - 0,32$  мкм, припуск на обработку 0,05-0,08 мм. После окончательной обработки отклонение геометрической формы не более 0,002 мм, шероховатость  $Ra 0,04-0,08$  мкм, припуск на обработку 0,02-0,03 мм. В ходе исследований процесса растрового хонингования опробована гамма брусков из проката отличающихся связкой, видом абразива, зернистостью и концентрацией. Эксперименты проводились при базовых режимах обработки: скорость резания:  $V_{рез}=27$  м/мин., время обработки  $T_{хон}=0,5$  мин; давление:  $P=0,8$  МПа.

Ханов Алмаз Муллаянович, доктор технических наук, профессор, декан механико-технологического факультета

Муратов Карим Равилевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: Karimur\_80@mail.ru

Гашев Евгений Анатольевич, инженер



Рис. 1. Деталь «гильза золотника»

Основным критерием процесса были приняты: производительность ( $Q$ ), шероховатость обработанной поверхности ( $Ra$ ) и удельный расход ( $\Delta_{СТМ}$ ) сверхтвердых материалов (СТМ). Сравнительные эксперименты по хонингованию стали 95X18 с твердостью  $HRc \geq 57$  брусками их синтетических алмазов и кубического нитрида бора (КНБ) показали, что не зависимо от зернистости, вида связки и концентрации бруски из синтетических алмазов не пригодны для обработки данного материала (рис. 2). Известно, [5, 6] что при алмазном хонинговании углеродистых сталей и сплавов в результате химической активности алмаза к железу преобладающими видами износа режущих зерен являются диффузионный и адгезионный, проявляющиеся в виде гладких площадок износа.

При этом наибольшее адгезионное разрушение алмаза наблюдается при обработке титана и хрома, а также сталей с большим содержанием данных элементов. Сталь 95X18 относится к высоколегированным сталям с большим содержанием углерода и образует при термообработке твердые карбиды. Такие свойства обрабатываемого материала приводят к весьма быстрому (1-5 мин) образованию больших площадок износа на режущих зернах в результате одновременного

диффузионного растворения и адгезионного среза микрочастиц алмаза. Это подтверждается фотографиями режущих зерен (рис. 3), сделанных на электронном микроскопе. Поэтому процесс резания быстро прекращается и бруски работают в режиме выглаживания, осуществляя сьем металла лишь в пределах исходной шероховатости.

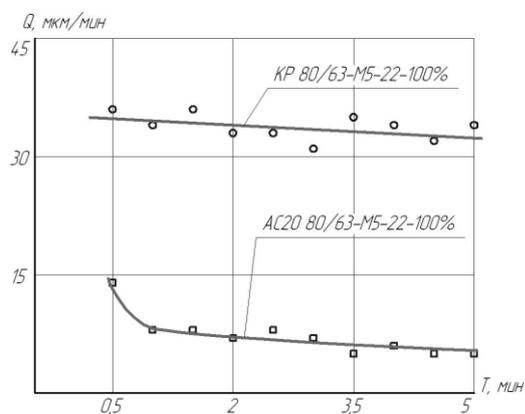
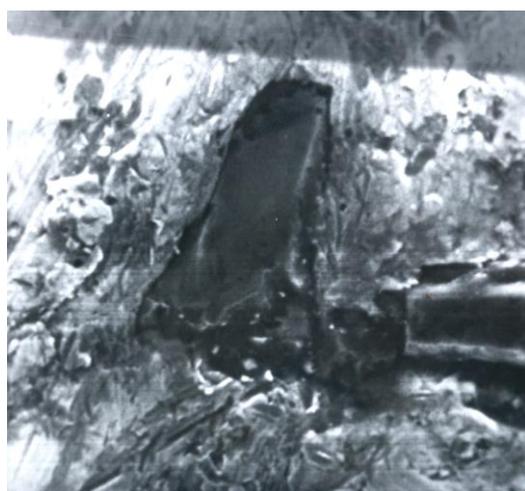
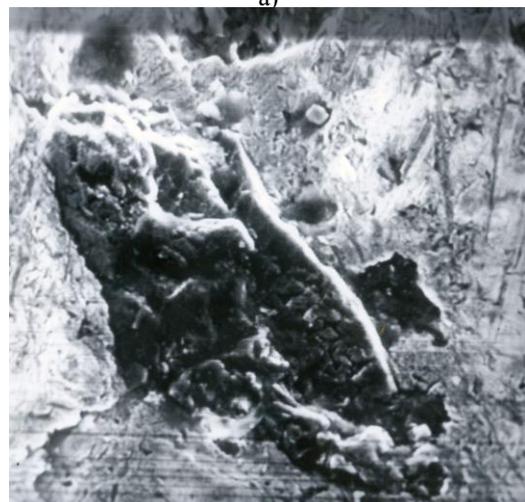


Рис. 2. Производительность съема ( $Q$ ) металла при обработке алмазными и кубанитовыми брусками. Сталь 95X18



а)



б)

Рис. 3. Характер износа режущих зерен: а) AC20 125/100-M5-22-100%,  $T_{хон}$ =5 м б) KP125/100-M5-22-100%  $T_{хон}$ =60 м. (x 2500)

Таким образом, в связи с непригодностью алмазных брусков для хонингования закаленной стали 95X18 все дальнейшие экспериментальные исследования проводились брусками из КНБ. В отличие от алмаза кубический нитрид бора (КНБ) обладает более высокой термостойкостью и химически инертен к железу и другим материалам. Благодаря этому бруски из КНБ весьма эффективны для обработки железоуглеродистых сталей и сплавов. Результаты экспериментов показали, что хонингование брусками из КНБ обеспечивают высокую производительность обработки стали 95X18, обладают достаточно высокой износостойкостью и длительно сохраняют высокие режущие свойства. Результаты исследования влияния зернистости и связки брусков из КНБ на показатели процесса хонингования представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, с увеличением зернистости брусков сьем металла  $\Delta_{мет}$  и шероховатость  $Ra$  возрастают. Относительно высокий износ  $K$  брусков KM 60/40-МД-50% объясняется более мягкой связкой по сравнению со связкой М5-22 и пониженной концентрацией абразивных зерен. Поэтому бруски на связке МД (деформируемый прокат) не целесообразно использовать на операциях предварительного хонингования при высокой исходной шероховатости. Для операции предварительного хонингования могут быть рекомендованы бруски следующей характеристики: KM80/63-M5-22-100% или KM60/40-M5-22-100%, обеспечивающие достаточно производительный сьем припуска и требуемую шероховатость  $Ra$  0,18-0,30 мкм. На операции окончательного размерного хонингования с целью обеспечения исходной шероховатости для отделочного хонингования рекомендуются бруски KM 40/28-M5-22-50%. Для отделочного хонингования деталей из стали 95X18 были использованы бруски в диапазоне каучукосодержащих связок P11-P18Т. Исходная шероховатость во всех опытах поддерживалась постоянной  $Ra=0,19-0,21$  мкм. Время хонингования  $T_{хон}=60$  сек. Результаты представлены в таблице 2.  $\sigma_{Ra}$  – среднее квадратическое отклонение, статистическое учитывающее разброс значений  $Ra$  на разных участках обработанной поверхности. Величина  $\sigma_{Ra}$  рассчитывалась по 20 значениям  $Ra$ .

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что исследуемый диапазон связок обеспечивает практически одинаковую интенсивность снижения шероховатости и однородность обработанной поверхности. Однако при исходной шероховатости  $Ra=0,190-0,210$  мкм бруски зернистостью АСМ 40/28 не обеспечивают требуемую шероховатость ( $Ra=0,08-0,04$  мкм). Поэтому были проведены дополнительные эксперименты с целью определения оптимальной зернистости брусков. Результаты представлены в таблице 3. Опыты проводились на брусках со связкой P11Т, при этом исходная шероховатость была снижена ( $Ra_{исх}=0,12-0,15$ ).

**Таблица 1.** Исследование зернистости брусков  
( $T_{хон}=0,5$  мин;  $P=0,8$  МПа;  $V_{рез}=27$  м/мин)

Характеристика брусков	$\Delta_{мет}$	$Q, \text{см}^3/\text{см}^2\text{ч}$	$\Delta_{СТМ}$	$K, \text{мг/г}$	$Ra, \text{мкм}$
КМ 40/28-М5-22-50%	14	0,35	2,2	1,0	0,135
КМ 60/40-МД-50%	15	0,38	4,3	2,6	0,187
КМ 60/40-М5-22-100%	15	0,38	2,2	1,0	0,180
КР 80/63-М5-22-100%	17	0,40	2	0,8	0,301
КР 125/100-М5-22-100%	20	0,46	1,8	0,75	0,59

**Таблица 2.** Влияние связки брусков на величину шероховатости

Характеристика брусков	$Ra \text{ ср}, \text{мкм}$	$\sigma_{Ra}, \text{мкм}$	$Ra_{ср}, \text{исход.}$
АСМ 40/28-Р18Т-50%	0,116	0,013	0,19-0,21
АСМ 40/28-Р11Т-50%	0,105	0,014	
АСМ 40/28-Р14/Р9-50%	0,115	0,014	
АСМ 40/28-Р11/Р9-50%	0,119	0,013	

**Таблица 3.** Влияние зернистости брусков на шероховатость поверхности

Характеристика брусков	$Ra \text{ ср}, \text{мкм}$	$\sigma_{Ra}, \text{мкм}$	$Ra_{ср}, \text{исход.}$
АСМ 40/28-Р11Т-50%	0,0310	0,0072	0,12-0,15
АС4 50/40-Р11Т-50%	0,0311	0,0040	
АС4 80/63-Р11Т-50%	0,0516	0,0029	

Опыты показали, что бруски зернистостью 40/28 интенсивно снижают исходную шероховатость, однако поверхность образуется неоднородная. Это объясняется тем, что бруски этой зернистости не полностью срезают исходную шероховатость, оставляя на обработанной поверхности глубокие микронеровности от предварительной обработки. Наилучшие результаты были получены при обработке брусками АС4 50/40-Р11Т-50%. Бруски этой зернистости практически полностью срезают исходную шероховатость и образуют достаточно однородную сетку.

Важное значение при хонинговании имеет правильное назначение режимов обработки, основными параметрами которых являются

скорость резания и давление брусков на обрабатываемую поверхность. Исследование влияния скорости резания проводилось брусками КР125/100-М5-22-100% при базовом давлении  $P=0,8$  МПа. Результаты представлены в таблице 4. С увеличением скорости резания в указанном диапазоне производительность процесса возрастает в 2,5 раза практически по линейному закону и значительно опережает возрастание износа брусков. Поэтому удельный расход  $K$  СТМ при возрастании скорости уменьшается. Шероховатость обработанной поверхности практически не зависит от скорости, поэтому для предварительного хонингования целесообразно устанавливать максимальную скорость резания  $V_{рез}=27$  м/мин.

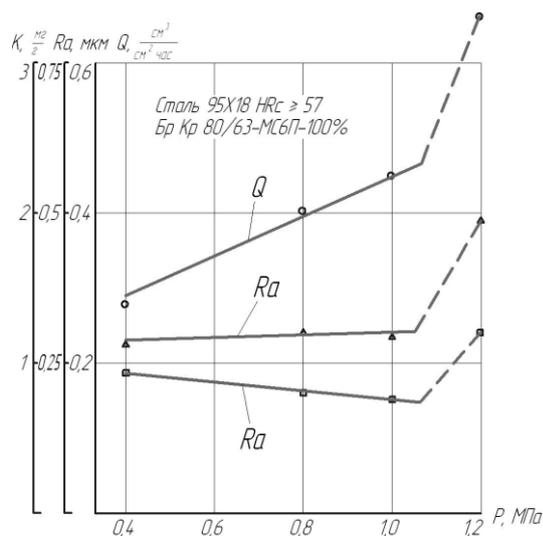
**Таблица 4.** Влияние скорости резания на показатели процесса хонингования ( $T_{хон}=1$  мин)

$V_{рез}, \text{м/мин}$	$\Delta_{мет}, \text{мкм}$	$Q, \text{см}^3/\text{см}^2\text{ч}$	$\Delta_{СТМ}, \text{мкм}$	$K, \text{мг/г}$	$Ra \text{ сред.}, \text{мкм}$
14	20,4	0,238	1,5	0,60	0,46
21	31,4	0,368	1,5	0,42	0,40
27	42,0	0,495	1,7	0,38	0,42

Контактное давление брусков на обрабатываемую поверхность также оказывает большое влияние на все показатели процесса хонингования. Результаты экспериментов представлены на рис. 4. Видно, что производительность процесса в зависимости от контактного давления изменяется по закону, близкому к линейному. Это объясняется увеличением глубины внедрения и количества режущих зерен. При этом сьем металла опережает

возрастание износа брусков, поэтому расход СТМ с увеличением давления несколько уменьшается. Однако данная закономерность соблюдается при увеличении давления до 1 МПа, дальнейшее увеличение давления приводит к интенсивному износу брусков и к скачкообразному росту производительности и шероховатости обработанной поверхности. Это связано с переходом от резания закрепленным абразивом к резанию свободными зернами.

Эта область при хонинговании брусками из КНБ недопустима.



**Рис. 4.** Влияние радиального давления на показатели процесса хонингования.  $T_{\text{хон}}=0,5$  мин;  $V_{\text{рез}}=27$  м/мин

**Выводы:** для размерного хонингования деталей топливной аппаратуры из стали 95X18,  $HRC > 57$  брусками из синтетических алмазов непригодны в виду быстрого образования больших площадок износа. Удовлетворительные результаты получены при хонинговании брусками из кубического нитрида бора. С целью обеспечения производительного съема припуска и формирования требуемого микрорельефа обработанной поверхности целесообразно проводить размерное и чистовое хонингование. Размерное хонингование целесообразно

осуществлять брусками из КНБ на металлосиликатной связке М5-22 с зернистостью 60/40 – 40/28, концентрация 100-50%, давление брусков  $P=0,8-1$  МПа, скорость резания  $V_{\text{рез}}=27$  м/мин. Для чистового хонингования в могут быть рекомендованы алмазные брусочки на каучукосодержащей связке Р11Т, зернистостью 50/40, концентрация 50%, давление брусков  $P=0,6-0,8$  МПа, скорость резания  $V_{\text{рез}}=21$  м/мин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ханов, А.М. Образование растровых траекторий при хонинговании цилиндрических поверхностей / А.М. Ханов, Е.А. Гашиев, К.Р. Муратов // СТИН. 2012. № 12. С. 13-17.
2. Муратов, К.Р. Сравнительные исследования методов хонингования / К.Р. Муратов, Е.А. Гашиев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т.14, №4(5). С. 1266-1269.
3. Ханов, А.М. Кинематика методов хонингования / А.М. Ханов, К.Р. Муратов, Е.А. Гашиев, А.В. Пепельшиев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4(4). С. 1044-1050.
4. Khanov, A.M. Kinematic potential of honing machines / A.M. Khanov, K.R. Muratov, E.A. Gashev, R.A. Muratov // Russian Engineering Research. 2011. Т. 31. № 6. Р. 607-609.
5. Неделин, Ю.Л. Износ алмазных зерен при хонинговании // Теория и практика алмазной обработки. – М., НИИМАШ, 1969. С. 197-199.
6. Ножкина, А.В. Сущность взаимодействия алмазов с металлами / А.В. Ножкина, В.И. Костилов, М.А. Маурах // Теория и практика алмазной обработки. – М., НИИМАШ, 1969. С. 19-25.

## RESEARCH THE HONING PROCESS OF FUEL EQUIPMENT DETAILS

© 2013 А.М. Khanov, К.Р. Muratov, Е.А. Gashev

Perm National Research Polytechnical University

Honing process of details from steel 95X18 on “Rastr-C20” machine is investigated. Results of comparative experiments are presented.

Key words: honing, “Rastr-C20”, efficiency, roughness, surface, cutting speed, contact pressure

Almaz Khanov, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Dean of the Mechanical and Technological Faculty  
Karim Muratov, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor E-mail: Karimur\_80@mail.ru  
Evgeniy Gashev, Engineer