

УКД 621.7.02

## Обеспечение высокой точности при хонинговании отверстий в энергомашиностроении

М.Ю. Куликов, Р.Е. Рыгин, Д.А. Нечаев  
ФГБОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения МИИТ»,  
г. Москва, Российская Федерация  
E-mail: muk56@mail.ru, ryroe@rambler.ru, dimon130784@mail.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** В настоящее время существует проблема получения высокоточных отверстий в газотурбинных энергетических установках, так как они характеризуются высокой точностью конструктивных элементов и использованием труднообрабатываемых материалов. В связи с этим одной из основных задач, стоящих перед машиностроением, является интенсификация технологических процессов при обеспечении стабильного высокого качества деталей.

**Материалы и методы:** Собственные практические исследования проведены с использованием методов обработки статистических данных.

**Результаты:** Проведен анализ формообразования при хонинговании отверстий в хромоникелевых сплавах. Представлены результаты собственных практических исследований с обработкой статистических данных. Установлены факторы, снижающие точность получаемых отверстий. Предложены способы, повышающие точность получаемых отверстий из хромоникелевых сплавов и износостойкость используемых хонеров.

**Выводы:** Высокая точность отверстий хромоникелевых сплавов достигается применением хонеров разработанной конструкции с износостойким покрытием на поверхности.

**Ключевые слова:** хромоникелевый сплав, алмазная обработка, хонингование.

## High Accuracy Ensuring for Honing Holes in Power-Plant Engineering

M.Yu. Kulikov, R.E. Rygin, D.A. Nechaev  
Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, Russian Federation  
E-mail: muk56@mail.ru, ryroe@rambler.ru, dimon130784@mail.ru

### Abstract

**Background:** At present there is the problem of high accuracy holes receiving in gas turbine power engineering units because the holes are characterized with the high accuracy of structural components and the usage of difficult-to-cut materials. Thus, one of the main tasks of mechanical engineering is the technical processes intensification while providing the stably high quality of parts.

**Materials and Methods:** The own practical researches are carried out with the usage of statistical data processing methods.

**Results:** The shaping analysis while honing the holes in chrome-nickel alloys is carried out. The results of practical researches with statistic data processing are provided. The factors which reduce the accuracy of the received holes are defined. The methods of increasing the holes accuracy of chrome-nickel alloys and wear resistance of the used hones.

**Conclusions:** The high accuracy of chrome-nickel alloys holes is reached by means of using the hones of the developed construction with wear resistance covering on surface.

**Key words:** chrome-nickel alloy, diamond treatment, honing.

Обработка материалов резанием, которую подразделяют на лезвийную и абразивную, продолжает доминировать в машиностроении, представляя наиболее развитый и универсальный рабочий процесс, на долю которого приходится более 90 % всех выполняемых операций. Одной из основных задач, стоящих перед машиностроением, является интенсификация технологических процессов при обеспечении стабильного высокого качества деталей. Поэтому необходимо развивать и совершенствовать технологические методы механической обработки деталей, особенно чистовые и отделочные операции.

Ведущее место среди разнообразных способов чистовой обработки деталей занима-

ет абразивная обработка, разновидностью которой является хонингование. Использование хонинговальных брусков из алмазов, обладающих высокой режущей способностью и стойкостью, обусловило возросшую значимость хонингования.

Алмазное хонингование – размерная обработка различных поверхностей с помощью хонинговальных головок, которые совершают вращательное и возвратно-поступательное движение при одновременной радиальной подаче брусков. Высокая стойкость алмазных брусков, низкие температуры в зоне резания и малые силы резания позволяют повысить точность и производительность обработки, уменьшить шероховатость обработанной поверхно-

сти, применить активный контроль, автоматизировать процесс хонингования и увеличить долговечность деталей машин и механизмов.

Совмещение вращательного и возвратно-поступательного движения создает на обработанной поверхности характерную для хонингования сетку по винтовой линии и способствует эффективному исправлению отклонения отверстий от правильной геометрической формы.

Алмазным хонингованием можно эффективно обрабатывать цилиндры и втулки двигателей внутреннего сгорания, шатуны, тормозные цилиндры, тормозные барабаны, ролики рулевой передачи, шестерни, блоки шестерен, коромысла клапанов, корпуса различных насосов, наружные кольца роликовых и игольчатых подшипников, цилиндры компрессоров, отверстия задней бабки станков и т. д.

Хонингование применяется в основном как окончательная операция обработки высокоточных отверстий в деталях и является более эффективной, чем притирка и полирование абразивными пастами и суспензиями.

А в современном машиностроении возникают технологические проблемы, связанные с обработкой жаропрочных, тугоплавких и никелевых сплавов. Эти сплавы обладают повышенной прочностью и вязкостью. Однако точность, требуемая в современном энергомашиностроении, и используемые для этого труднообрабатываемые материалы не позволяют достигнуть требуемых параметров при использовании традиционного хонингования, однако финишная алмазная обработка позволяет при наименьших съемах материала наиболее активно воздействовать на обрабатываемую поверхность и управлять микрогеометрией и физическим состоянием поверхностных слоев.

В настоящее время выполнен значительный объем научных исследований процессов алмазной обработки, позволивший оптимизировать их для разных условий и методов обработки. Одним из перспективных направлений исследования и научного прогнозирования повышения эффективности алмазной обработки является разработка вопросов механики контактного взаимодействия алмазного инструмента с деталью на основе теории упруго-пластического контактного взаимодействия шероховатых поверхностей.

Теория контактного взаимодействия позволяет установить оптимальные требования к алмазному инструменту, режимам обработки и исходным параметрам обрабатываемой детали.

К основным факторам, определяющим работоспособность инструмента, относятся качество алмазного сырья, физико-механические свойства связки и их соотношение со свойствами алмазов и обрабатываемого материала, конструктивные параметры инструмента, технология изготовления инструмента и режим его эксплуатации.

В зависимости от условий работы, алмазный инструмент подвергается адгезионному, диффузионному, абразивному, химическому, окислительному и другим видам износа [1, 2, 3].

Необходима разработка способов хонингования отверстий, соответствующих качеству точности 3, 4, в хромоникелевых сплавах, используемых в современных энергетических газотурбинных установках. Исследования проводились на хонинговальном станке SUNNEN SK-21 при обработке цилиндрических и конических отверстий  $\varnothing 30_{(-0,006)}$  в хромоникелевых сплавах марки ХН-78Т с использованием СОТС Shell Macron 2442 М-3.

Контроль точности получаемых отверстий производился на координатно-измерительной машине (КИМ) с числовым программным управлением (ЧПУ) TESA S-10Т.

Также проведено микрофотографирование (увеличение  $\times 100$ ) полученных поверхностей обработанных отверстий на микроскопе Hawk 200 (рис. 1).

Анализ полученных данных показал, что при хонинговании отверстий в хромоникелевых сплавах идет искажение формы по образующей отверстия. Это отклонение от точности формы отверстий наблюдается на глубине более 50 мм. Однако при обмерах полученных отверстий в хромоникелевых сплавах, глубиной свыше 50 мм, обнаружилось, что отверстия обладают конусностью. Причем конусность отверстия в поперечном сечении направлена от захода инструмента вглубь по образующей отверстия. Таких отклонений и конусности при обработке отверстий в стали 45, обладающей хорошей обрабатываемостью, не фиксируется.

Обнаруженные вырывы и налипы (рис. 2) на поверхности обработанных отверстий в хромоникелевых сплавах свидетельствуют о низкой стойкости алмазного инструмента.

После обработки одного отверстия в стали 45 явно выраженного износа абразивных зерен не наблюдается [4].

Это позволяет сделать вывод о том, что при обработке хромоникелевых сплавов наблюдается ускоренный износ абразивных зерен хона в начальный момент резания, а также, что силы резания при алмазном хонинговании хромоникелевых сплавов значительно изменяются в течение периода обработки одного отверстия, что ведет к искажению формы получаемого отверстия. По обнаруженному скоротечному износу связки происходит удаление из алмазоносного слоя алмазных зерен. Таким образом, низкий ресурс работы хона является причиной низкой точности получаемых отверстий в хромоникелевых сплавах. Поэтому для достижения требуемой точности отверстий в труднообрабатываемых материалах необходимо увеличить износостойкость применяемых хонов. Установлено, что причиной низкой точности отверстий в хромоникелевых

сплавах является низкая стойкость инструмента и образующаяся в зоне резания стружка. Выявлено, что новый хон теряет свои режущие свойства в начальный момент обработки этих сплавов. А искажение геометрической формы отверстия идет также за счет скопления образующейся стружки в зоне резания.



Рис. 1. Микрофотография (x100) поверхности отверстия после обработки в стали 45

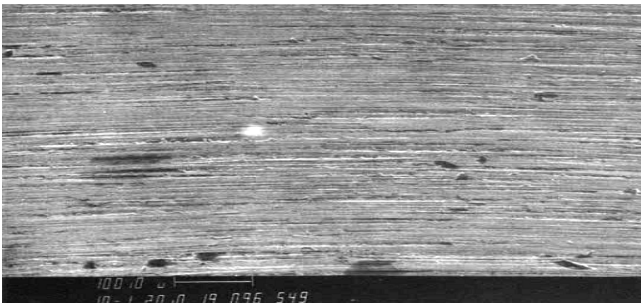


Рис. 2. Микрофотография (x100) поверхности отверстия после обработки в хромоникелевом сплаве

Из-за стесненных условий резания образующийся в зоне контакта шлам, состоящий из стружки, вырванных абразивных зерен и частиц износа связки инструмента, действует на

обрабатываемую поверхность как дополнительный режущий элемент и искажает форму отверстия. Произведенные замеры обработанных отверстий показали наличие обратной конусности 1–3 минуты в отверстиях глубиной выше 50 мм (рис. 3).

Заполнение дефектных углублений карбидной фазой материала покрытия не только повышает прочностные характеристики зерен алмаза, но и создает дополнительные связи с матрицей, обусловленные когезией металла. Следовательно, прочность сцепления связки, обогащенной адгезионно-активным металлом, с поверхностью дефектных алмазов определяется суммой работы адгезии и когезии [5, 6].

В качестве независимых переменных (факторов) были приняты толщины алюминиевого покрытия. Интервалы варьирования факторов определялись исходя из собственного экспериментального опыта и литературных данных.

Проведенные исследования показали, что при хонинговании высокоточных отверстий в хромоникелевых сплавах необходимо комплексно использовать оба предложенных способа, т.е. использовать хоны разработанной конструкции с нанесенными на их рабочие поверхности покрытиями на основе алюминия.

Для эффективного удаления образующегося шлама была разработана конструкция хона, позволяющая равномерно удалять образующийся шлам из зоны резания. В корпусе инструмента спроектированы окна, позволяющие с помощью используемой смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) эффективно удалять шлам из зоны резания. Их конструкция обеспечивает турбулентное движение СОЖ в рабочей зоне при хонинговании.

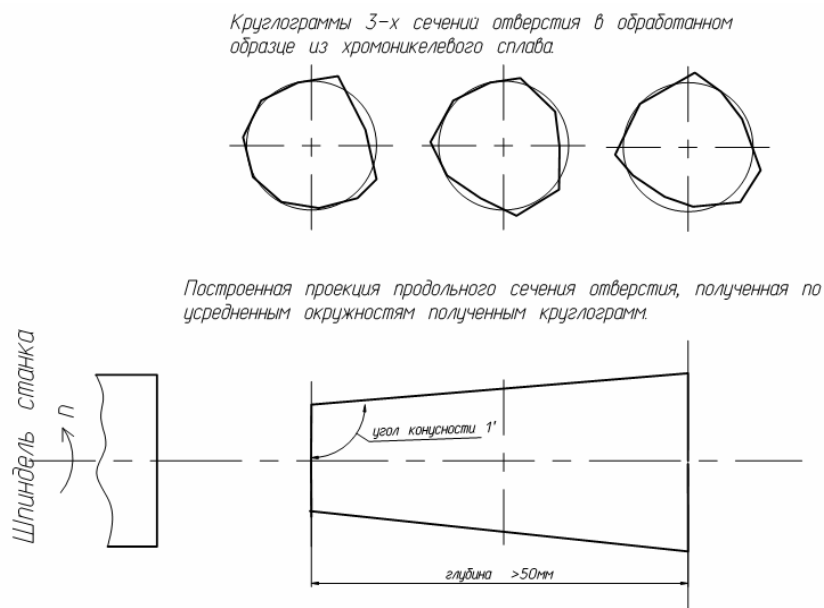


Рис. 3. Оценка формы конусности полученного отверстия после традиционного хонингования

Анализ микрофотографий рабочих поверхностей изношенных хонеров показал, что износ идет за счет вырыва алмазных зерен из связки (рис. 4). В момент вырыва зерно не вырабатывает свой ресурс и находится на начальной стадии износа. Это согласуется с данными М.М. Яхутлова и З.Ж. Борова [7, 8], которые при исследовании алмазных буровых коронок после обработки горных пород установили, что в момент удаления алмаза из связки он вырабатывает свой ресурс на 5–10 %. Для увеличения ресурса работы алмазного зерна ими предложено наносить износостойкое покрытие на основе титана и никеля.

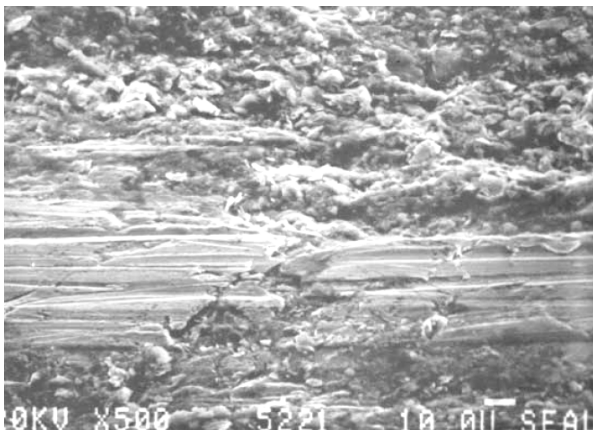


Рис. 4. Микрофотография (x 500) режущей поверхности хона после обработки хромоникелевого сплава

Для проверки эффективности работоспособности этого способа были проведены испытания хонеров с различными покрытиями. При испытании хонеров использовались покрытия на основе меди, серебра, керамики и алюминия, наносимых различными способами. Контролировалась точность получаемых отверстий. Требуемую точность отверстия на всей длине (L 150 мм) обеспечивают покрытия на основе алюминия и меди. При этом требуемую шероховатость ( $R_a$  0,06–0,08) показали хонеры с покрытием на основе алюминия.

Проведенные исследования показали, что при хонинговании высокоточных отверстий в хромоникелевых сплавах необходимо комплексно использовать оба предложенных способа, т.е. использовать хонеры разработанной конструкции с нанесенными на их рабочие поверхности покрытиями на основе алюминия.

*Куликов Михаил Юрьевич,*

ФГБОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения МИИТ»,  
доктор технических наук, профессор кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,  
e-mail: muk56@mail.ru

*Рыгин Роман Евгеньевич,*

ФГБОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения МИИТ»,  
аспирант кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,  
e-mail: ruroe@ Rambler.ru

## Список литературы

1. Фрагин И.Е. Новое в хонинговании. – М.: Машиностроение, 1980. – 95 с.
2. Куликов С.И. Прогрессивные методы хонингования. – М.: Машиностроение, 1983. – 135 с.
3. Фрагин И.Е., Сафронов В.Г. Исследование процесса хонингования. – М.: НИИмаш, 1965. – 87 с.
4. Куликов М.Ю., Рыгин Р.Е. Изучение закономерностей формообразования при хонинговании высокоточных отверстий в труднообрабатываемых сплавах // *Fundamental'nye problemy tekhniki i tekhnologii: «Tekhnologiya–2012»*. – Орел, 2012. – С. 191–193.
5. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М.: Машиностроение, 1975. – 88 с.
6. Малиновский Г.Г. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. – М.: Химия, 1988. – 187 с.
7. Яхутлов М.М. Повышение работоспособности алмазных инструментов направленным изменением физических характеристик их режущей части: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Нальчик: КБГУ, 2001. – 337 с.
8. Боров З.Ж. Повышение ресурса алмазных инструментов на металлической связке ионно-плазменной металлизацией алмазного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Нальчик: КБГУ, 1998. – 28 с.

## References

1. Fragin, I.E. *Novoe v khoningovanii* [New in Honing]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 95 p.
2. Kulikov, S.I. *Progressivnye metody khoningovaniya* [Progressive Honing Methods]. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 135 p.
3. Fragin, I.E., Safronov, V.G. *Issledovanie protsessha khoningovaniya* [Process Honing Research]. Moscow, NIImash, 1965. 87 p.
4. Kulikov, M.Yu., Rygin, R.E. *Izuchenie zakonornostey formoobrazovaniya pri khoningovanii vysokotochnykh otverstiy v trudnoobrabatyvaemykh splavakh* [Studying of Shaping Regularities at Honing High-Precision Holes in Hardly Treated Alloys] // *Fundamental'nye problemy tekhniki i tekhnologii: «Tekhnologiya–2012»* [Fundamental problems of equipment and technology: «Technology–2012»]. Oreil, 2012, pp. 191–193.
5. Latsyshev, V.N. *Povyshenie effektivnosti SOZh* [Efficiency Increasing of Lubricant Cooling Liquid]. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 88 p.
6. Malinovskiy, G.G. *Maslyanye smazochno-okhlazhdayushchie zhidkosti dlya obrabotki metallov rezaniem* [Oil Lubricant Cooling Liquids for Metals Treatment by Cutting]. Moscow, Khimiya, 1988. 187 p.
7. Yakhutlov, M.M. *Povyshenie rabotosposobnosti almaznykh instrumentov napravlenym izmeneniem fizicheskikh kharakteristik ikh rezhushchey chasti*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Increasing Operability of Diamond Tools by Directed Change of Their Cutting Part Physical Characteristics. Abstract of Doctor of Engineering]. Nal'chik, KBGU, 2001. 337 p.
8. Berov, Z.Zh. *Povyshenie resursa almaznykh instrumentov na metallicheskoj svyazke ionno-plazmennoy metallizatsiey almaznogo syr'ya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Increasing Diamond Tools Resource on Metal Bond of Ion-Plasma Metallization of Rough Diamond. Abstract of Candidate of Engineering]. Nal'chik, KBGU, 1998. 28 p.

*Нечаев Дмитрий Александрович*,  
ФГБОУВПО «Московский государственный университет путей сообщения МИИТ»,  
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,  
e-mail: [dimon130784@mail.ru](mailto:dimon130784@mail.ru)

