

УДК 621.9

Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова, С. А. Сухоцкий

КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИМИ РАСКАТНИКАМИ

UDC 621.9

D. M. Svirupa, A. S. Siamionava, S. A. Sukhotskiy

DESIGNS OF TOOLS FOR COMBINED PROCESSING BY CUTTING AND SURFACE PLASTIC DEFORMATION WITH MAGNETO-DYNAMIC ROLLERS

Аннотация

Отличительной особенностью инструментов для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамического раскатывания является их способность выполнять растачивание или абразивную обработку и раскатывание за один рабочий ход инструмента.

Использование этих инструментов позволяет значительно сократить время обработки заготовки за счет объединения двух операций технологического процесса в одну, что приводит к повышению производительности.

Ключевые слова:

упрочнение, раскатывание, совмещенная обработка, производительность.

Abstract

A distinctive feature of the tools for combined machining and magneto-dynamic rolling is their ability to perform boring or abrasive processing and rolling in one pass.

The use of these tools can significantly reduce the process time of a workpiece by combining the two operations of the technological process in one, which leads to increasing productivity.

Keywords:

hardening, rolling, combined machining, productive capacity.

Введение

Детали, рабочей поверхностью которых является внутренняя цилиндрическая поверхность, широко используются во многих отраслях промышленности (отверстия корпусных деталей, цилиндры, гильзы двигателей внутреннего сгорания, пневмо- и гидроцилиндры, втулки, ответственные внутренние поверхности труб, кольца подшипников). Для перечисленных деталей предъявляются высокие требования к качественным показателям рабочих поверхностей.

Для повышения качественных характеристик данного типа деталей широко применяются методы упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД). Одним из таких методов обработки отверстий является магнитно-динамическое раскатывание [1–8]. Магнитно-динамическое раскатывание позволяет при сравнительно низких производственных затратах уменьшить шероховатость, повысить сопротивление разрушению деталей, работающих в условиях переменных нагрузок или подвергающихся истиранию, и микротвердость



поверхностного слоя металла, сформировать напряжения сжатия и необходимый микрорельеф, а также повысить износостойкость и контактную жесткость деталей машин.

Методы ППД известны на производстве, однако их широкому внедрению зачастую мешает введение дополнительной отделочно-упрочняющей операции в технологический процесс.

В настоящее время решить данную проблему помогут перспективные и экономичные способы получения качественной поверхности детали при повышении производительности обработки, сочетающие две операции технологического процесса, такие как раскатывание, развертывание, абразивная обработка и раскатывание за одну технологическую операцию. С этой целью были разработаны инструменты совмещенной обработки.

Магнитно-динамическое раскатывание (МДР) можно осуществлять как после абразивной обработки, так и после лезвийной. Таким образом, можно выделить схемы совмещенной обработки, состоящие из следующих модулей: шлифование и магнитно-динамическое раскатывание, хонингование и МДР, развертывание и МДР, растачивание и МДР. При этом обработку можно производить на сверлильных, фрезерных, токарных, шлифовальных и других станках.

Важной задачей при проектировании инструментов для совмещенной обработки является решение проблемы отвода стружки, образованной от прохода первого инструмента. В ходе разработки компоновки конструкции или схемы компоновки совмещенной обработки необходимо учитывать частоты вращения модулей инструмента.

Инструмент для совмещенной обработки шлифованием и магнитно-динамическим раскатыванием

Совмещенный инструмент для чистой обработки внутренних поверхностей включает в себя два модуля: шлифовальный и отделочно-упрочняющий, установленные соосно друг другу. Шлифовальный модуль состоит из шлифовального круга 2, закрепленного на оправке 1 с помощью шайбы 9 и гайки 10. Отделочно-упрочняющий включает диск 3 и магнитную обойму 6, образующие кольцевую камеру 8, в которой свободно расположены деформирующие шары 4. В магнитной обойме 6 размещены цилиндрические постоянные магниты 5. Крышка 7 препятствует выпадению источников магнитного поля 5 из обоймы 6. При вращении инструмента шлифовальный модуль осуществляет абразивную обработку детали согласно схеме внутреннего шлифования, при этом в отделочно-упрочняющем модуле деформирующие шары 4 разгоняются в кольцевой камере 8 под воздействием магнитной силы, формируемой источниками магнитного поля 5, и центробежной силы, осуществляя отделочно-упрочняющую обработку детали. В ходе обработки отвод мелкой стружки и продуктов износа абразивного инструмента производится благодаря обильному поливу зоны шлифования смазочно-охлаждающей жидкостью, что препятствует попаданию элементов износа и стружки в зону деформирования.

На рис. 1 схематично представлен инструмент для совмещенной обработки шлифованием и магнитно-динамическим раскатыванием.

Совмещенная обработка (шлифование и раскатывание) обеспечивает высокую точность геометрической формы деталей и другие качественные характеристики поверхностного слоя обрабатываемых деталей.



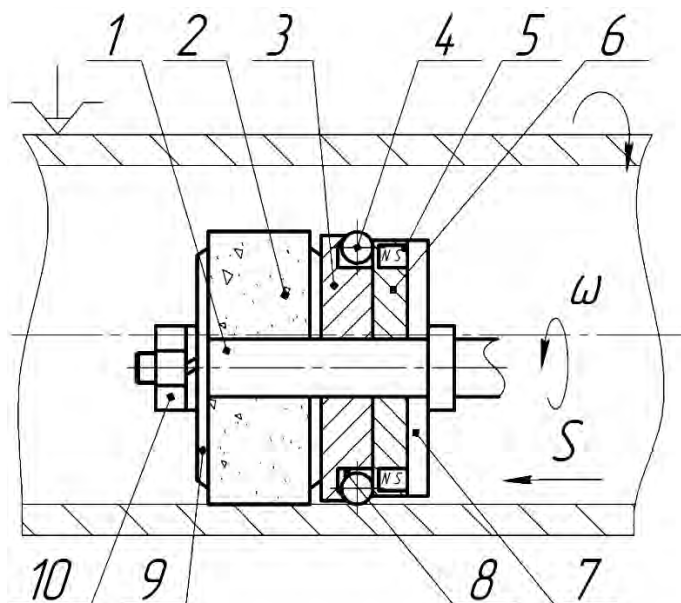


Рис. 1. Схема совмещенной обработки шлифовальным кругом и МДР

Инструмент для совмещенной обработки хонингованием и магнитно-динамическим раскатыванием

Для достижения высокой точности и заданного качества внутренних поверхностей деталей широко используется хонингование, позволяющее обрабатывать тонкостенные отверстия больших диаметров. Увеличение площади контакта хона с поверхностью заготовки и уменьшение удельного давления обеспечивает высокую точность геометрической формы и приводит к повышению производительности, а снижение тепловыделения предотвращает появление в поверхностном слое микротрещин, прижогов, а также остаточных напряжений растяжения, как при шлифовании.

На рис. 2 представлена схема совмещенного инструмента хона и раскатника, содержащего хонинговальную головку 1 с абразивными брусками 2. Отделочно-упрочняющий модуль инструмента для совмещенной обработки хонингованием и магнитно-динамическим раскатыванием описан ранее в инстру-

менте для совмещенной обработки шлифованием и МДР.

При совмещении двух процессов – хонингования и раскатывания – происходит затруднение удаления микростружки, образованной в результате хонингования, и элементов износа абразивных брусков от зоны поверхностного пластического деформирования ввиду возвратно-поступательного движения инструмента. Фетровая втулка 9 служит для предотвращения попадания вышеназванных частиц в зону деформирования.

Для осуществления процесса совмещенной обработки используются режимы, характерные для хонингования на больших скоростях (80...100 м/мин), применяемые для снятия большого припуска. При данных скоростях деформирования шары разгоняются в кольцевой камере, осуществляя процесс магнитно-динамического раскатывания, при котором острые вершины хонинговальной сетки сглаживаются, положительно влияя на шероховатость поверхности и продление срока службы изделия и его элементов.

Данные совмещенные инструменты до настоящего времени не получили ши-



рокого распространения и чаще применяются хонингование как дополнительную

операцию технологического процесса.

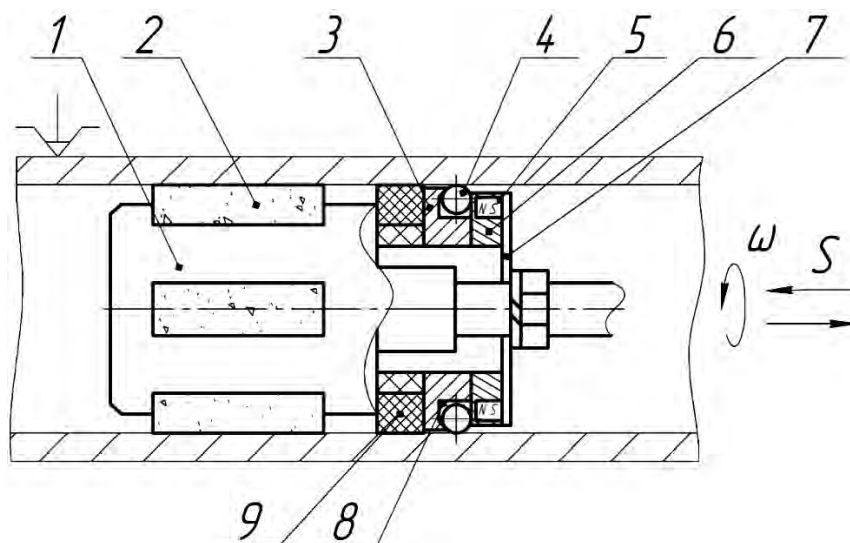


Рис. 2. Схема совмещенной обработки хонем и МДР

Инструмент для совмещенной обработки развертыванием и магнитно-динамическим раскатыванием

Развертывание отверстий применяется для чистовой обработки на станках токарной, сверлильной или фрезерной группы с обеспечением точности 7–9 квалитетов и шероховатости поверхности 7–8 классов. На рис. 3 пред-

ставлена схема совмещенного инструмента, включающего модуль для развертывания отверстий и модуль для отделочно-упрочняющей обработки – МДР. Согласно схеме: 1 – насадная развертка; 2 – втулка; 3 – металлическая щетка; 4 – фетровая втулка; 5 – диск; 6 – гайка; 7 – втулка; 8 – цилиндрические постоянные магниты; 9 – магнитная обойма; 10 – деформирующие шары.

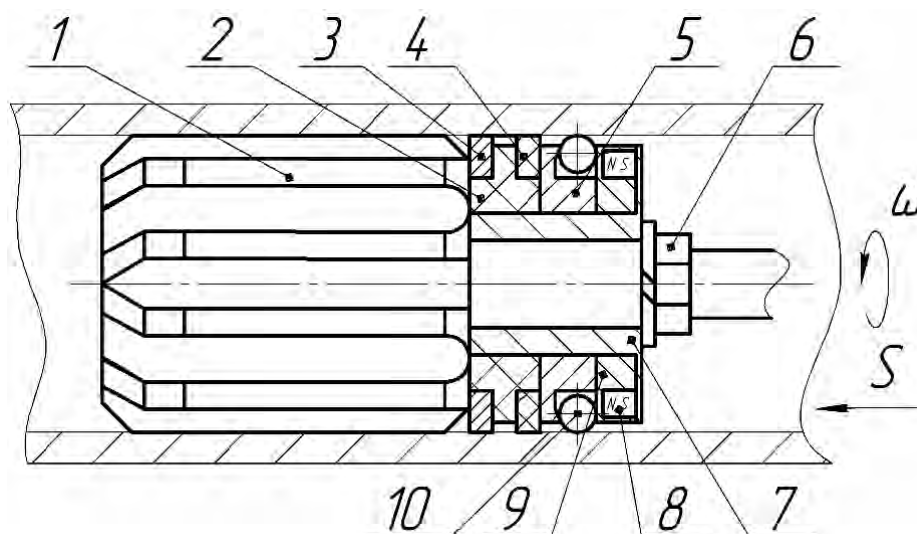


Рис. 3. Схема совмещенной обработки разверткой и МДР



Инструмент для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием для станков фрезерно-расточной группы

Инструмент для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием применяют для увеличения диаметров цилиндрических отверстий растачиванием с последую-

щим раскатыванием с целью повышения их точности и чистоты поверхности, получения отверстий необходимой геометрической формы.

Инструмент предназначен для использования на станках фрезерно-расточной группы с ЧПУ и ручным управлением. На рис. 4 представлена конструкция инструмента для совмещенной обработки.

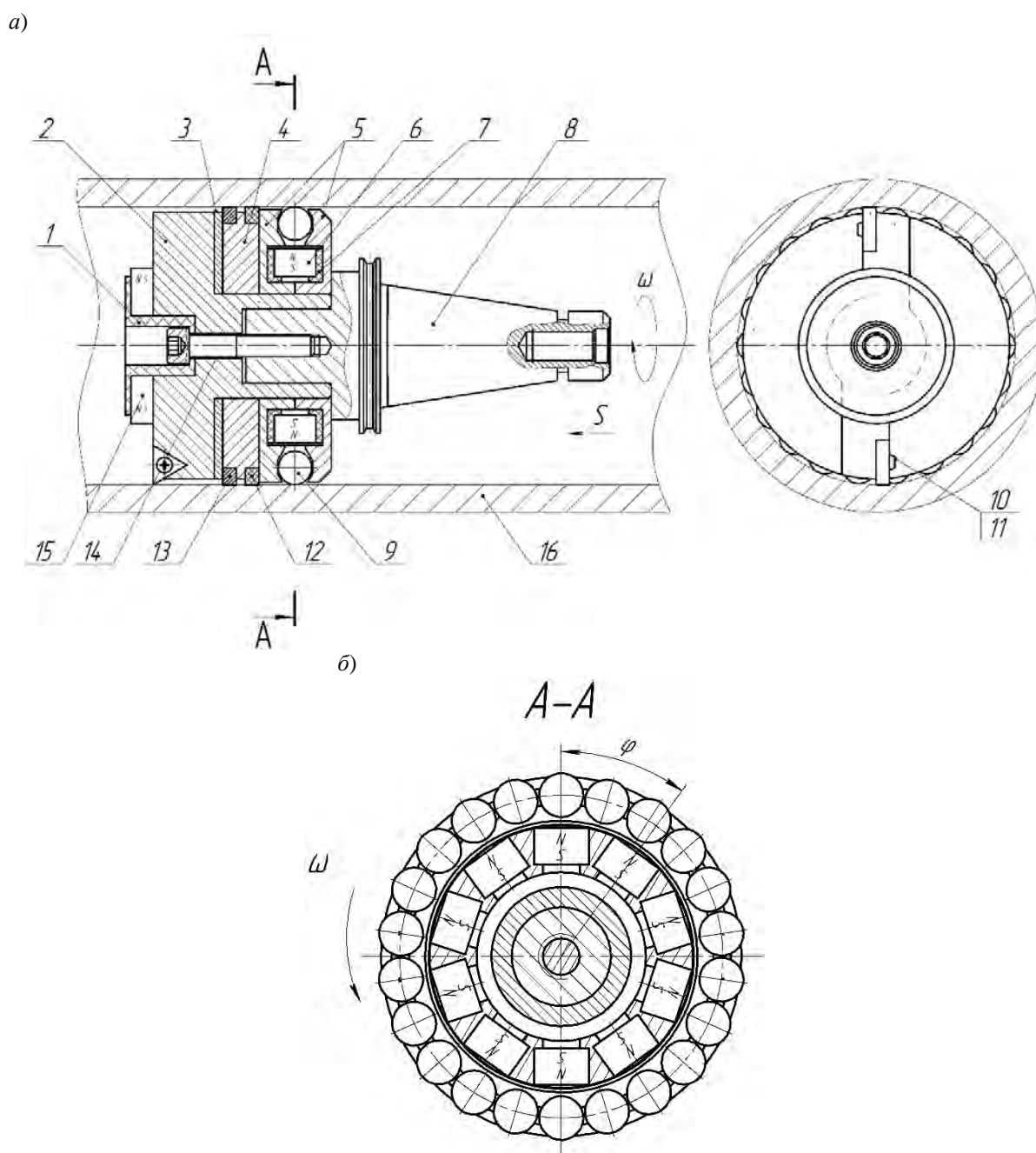


Рис. 4. Конструкция инструмента для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием: а – общий вид; б – поперечное сечение инструмента



Представленная схема инструмента для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием содержит следующие элементы: 1 – стакан; 2 – расточная головка; 3 – уплотняющее кольцо; 4 – втулка; 5 – диски; 6 – источники магнитного поля; 7 – обойма; 8 – фрезерная оправка; 9 – деформирующие элементы; 10 – режущая пластина; 11 – винт; 12 – фетровая втулка; 13 – щётка; 14 – винт; 15 – кольцевой магнит; 16 – деталь.

Представленный инструмент осуществляет чистовую отделочно-упрочняющую обработку отверстий деталей с полями допуска по 6–9 квалитетам с обеспечением параметра шероховатости обработанной поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,32$ мкм.

Для осуществления процесса раскатывания требуется, чтобы величина центробежной силы, зависящей от окружной скорости деформирующих шаров, не была меньше магнитной силы, действующей со стороны постоянных магнитов. Данное условие выполнимо при скоростном растачивании со скоростями от 250 до 500 м/мин.

Для работы инструмента оправку 8 закрепляют в шпинделе станка фрезерно-расточной группы соосно с деталью 16, сообщая последнему вращательное движение с угловой скоростью ω , а установленной на столе станка детали 16 осевую подачу S .

Сменные режущие пластины 10 (твердосплавные или керамические) крепятся с помощью винта 11 и предварительно подводятся к торцу детали 16 на величину снимаемого припуска t при тонком растачивании.

При обработке образующаяся в процессе тонкого растачивания стружка отводится от зоны деформирования благодаря наличию постоянного опережающего кольцевого магнита 15. Стакан 1 поджимается винтом 14 и препятствует выпадению дополнительного источника магнитного поля 15. Металлическая

щётка 13, зафиксированная на диске 4, служит для препятствия попадания твердых частиц металла, образуемых при растачивании, в зону деформирования, а втулка 3, предварительно пропитанная индустриальным маслом, смазывает внутреннюю цилиндрическую поверхность отверстия перед ППД.

Источники магнитного поля – постоянные цилиндрические магниты 6 установлены в радиальных отверстиях обоймы 7 с равномерным угловым шагом φ без чередования полюсов, что увеличивает влияние общей магнитной составляющей на деформирующие элементы 9, находящиеся в кольцевой камере, образованной дисками 5. Таким образом, деформирующие шары 9 испытывают влияние магнитной и центробежной сил, приобретают высокую динамическую активность, перемещаются в окружном направлении кольцевой камеры, попеременно воздействуя на поверхность детали. Выполнение обработки при подачах до 200 мм/мин обеспечивает равномерное перекрытие, сглаживая острые вершины лунок, образованные деформирующим шаром после соприкосновения с деталью, тем самым формируя лунчатообразный маслоудерживающий рельеф на обработанной поверхности.

Таким образом, процесс совмещенного растачивания с последующим магнитно-динамическим раскатыванием формирует поверхностный слой с высокими эксплуатационными характеристиками [9–13].

Конструкция инструмента для совмещенной обработки резанием и МДР с осевой намагниченностью представлена на рис. 5. Инструмент содержит расточную головку 1, режущие пластины 2, опорное кольцо 3, щётку 4, фетровую втулку 5, немагнитопроводный диск 6, немагнитопроводную обойму 7, источники магнитного поля 8, шайбу 9, деформирующие шары 10, оправку 11, крепежный винт 12.



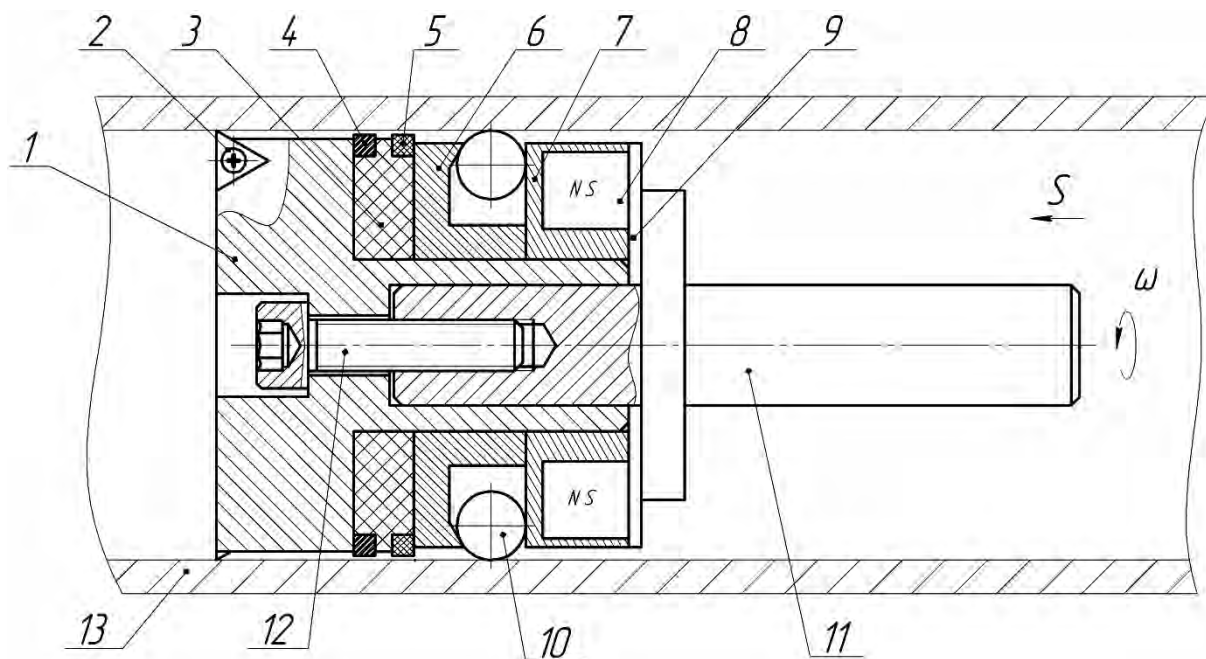


Рис. 5. Конструкция инструмента для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием с осевой намагниченностью

Инструмент закрепляют в шпинделе станка посредством оправки 11, сообщают вращение и осевую подачу. Расточная головка 1, настроенная на определенный размер, осуществляет тонкое растачивание. Деформирующие шары 10 под действием центробежной силы разгоняются внутри кольцевой камеры инструмента, при этом смещаясь по торцовой поверхности обоймы 7 в направлении обрабатываемой детали 13, не теряя магнитного взаимодействия с источниками магнитного поля 8, расположенными внутри обоймы 7. В то же время поддерживается постоянная жесткость ведения деформирующих шаров, которые осуществляют гладкое раскатывание внутренней цилиндрической поверхности обрабатываемой детали.

Применение конструкции инструмента с осевой намагниченностью позволяет снизить скорость вращения инструмента (200...400 м/мин) по сравнению с инструментами, имеющими магнитную систему с радиальной намагниченностью, без ухудшения шероховатости обрабатываемой поверхности.

Инструмент для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием (двухрядная компоновка)

Оправку 1 устанавливают в шпинделе станка и сообщают инструменту (рис. 6) вращение с угловой скоростью ω . Заготовку 10 фиксируют в приспособлении на столе станка и сообщают ей подачу S .

Резцовый модуль осуществляет тонкое растачивание заготовки. Образующая в процессе тонкого растачивания резцом 2 стружка направляется стружколомом, установленным на передней поверхности режущей пластины, в зону действия дополнительного источника магнитного поля – кольцевого магнита 3, установленного следом за расточным модулем. Дополнительный источник магнитного поля также предназначен для предварительного намагничивания детали.

Отличительной особенностью данного инструмента является наличие



двух рядов шаров. Шары-ударники 4 и деформирующие шары 5 располагаются в двухполостной кольцевой камере 6, образованной немагнитопроводным диском 7 и магнитной обоймой 8. В магнитную обойму 8 вставлены цилиндрические постоянные магниты 9. Под действием магнитного поля, создаваемого цилиндрическими постоянными магнитами 9, и центробежной силы, возникающей в результате вращения инструмента с угловой скоростью ω , шары-ударники 4 разгоняются во внутренней полости кольцевой камеры 6, периодически ударяя по деформирующим шарам 5. В свою очередь деформирующие шары 5 модифицируют тон-

ко расточенный поверхностный слой обрабатываемой заготовки. Деформирующие шары имеют меньший радиус по сравнению с шарами-ударниками, что позволяет локализовать ударное воздействие на деталь на меньшей площади контакта, при этом суммируя массы деформирующего шара и шара-ударника. Это повышает эффективность обработки – большее деформирование при меньших скоростях [14–18].

Дополнительный ряд шаров-ударников позволяет снизить скорость вращения инструмента (180...300 м/мин), уменьшить температуру в зоне обработки без снижения качественных характеристик обрабатываемой поверхности.

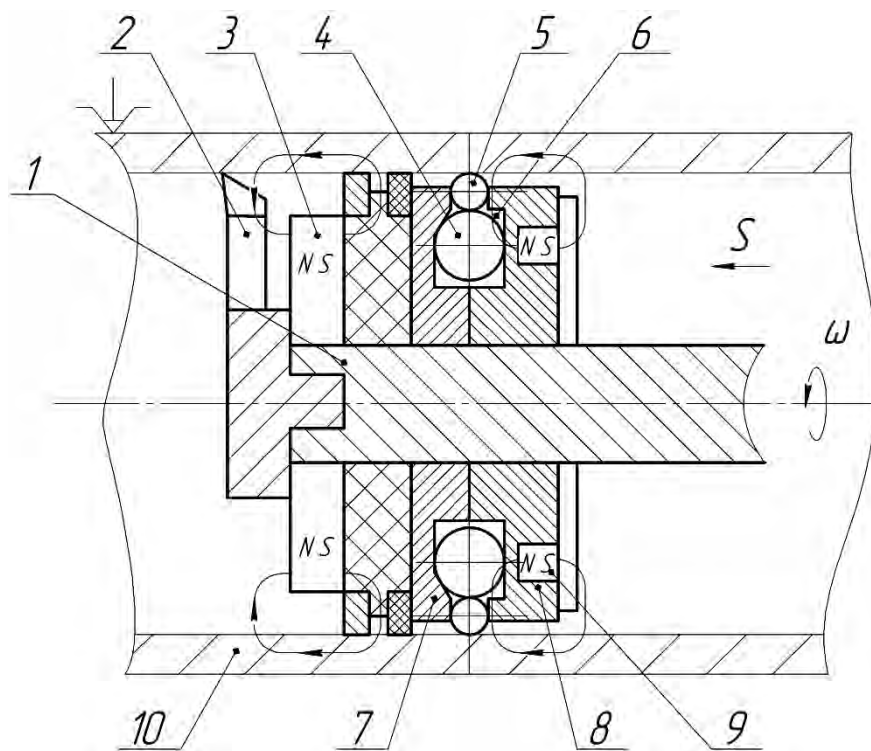


Рис. 6. Конструкция инструмента для совмещенной обработки резанием и магнитно-динамическим раскатыванием (двухрядная компоновка)

Заключение

Приведены конструкции инструментов для совмещенной обработки, состоящих из следующих модулей: шлифование и магнитно-динамическое

раскатывание, хонингование и МДР, развертывание и МДР, растачивание и МДР. Отличительной особенностью спроектированных инструментов является возможность совмещения двух технологических операций за один ра-



бочий ход, что позволяет повысить производительность и снизить затраты на изготовление детали.

Конструкции разработанных инструментов адаптированы под использование на станках различных групп, таких как токарные, сверлильные, расточные, шлифовальные, фрезерные. Каждой группе станков соответствует первый модуль инструмента для совмещенной обработки. Второй модуль – модуль магнитно-динамического раскатывания – разработан таким образом, чтобы соответствовать скоростным возможностям соответствующего технологического оборудования.

При использовании инструментов для совмещенной обработки сохраняются положительные стороны, характерные

для обоих модулей инструмента. При этом первый модуль, как правило, обеспечивает необходимые точностные характеристики, а магнитно-динамический модуль – преимущества, характерные технологии магнитно-динамического раскатывания: интенсивное снижение шероховатости обрабатываемой поверхности, упрочнение поверхностного слоя, повышение микротвердости и износостойкости, формирование благоприятных остаточных напряжений.

При разработке компоновок инструментов был предложен ряд конструктивных решений по вопросам отвода стружки, образованной в результате прохода первого модуля инструмента, с целью предотвращения её попадания в зону деформирования второго модуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокопроизводительное магнитно-динамическое упрочнение внутренней поверхности цилиндров / Д. М. Свирепа, А. М. Довгалёв, А. С. Семёнова, О. Н. Юхновец // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2015. – С. 51.*
2. Способ магнитно-динамического упрочнения внутренней поверхности круглого отверстия в металлической детали : пат. BLR 17976 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа. – Оpubл. 28.02.2014.
3. **Довгалев, А. М.** Математическое моделирование процесса магнитно-динамического раскатывания / А. М. Довгалев, И. И. Маковецкий, Д. М. Свирепа // *Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 4 (64). – С. 26–30.*
4. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки цилиндрического отверстия детали : пат. BLR 19139 / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа. – Оpubл. 30.04.2015.
5. Математическое моделирование магнитно-динамического инструмента для упрочняющей обработки плоских поверхностей / А. М. Довгалев, Н. А. Леванович, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 55–65.*
6. Инструмент для поверхностного пластического деформирования отверстия детали : пат. BLR 18083 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, С. А. Сухоцкий, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 30.06.2014.
7. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки : пат. BLR 10065 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 30.12.2007.
8. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки : пат. BLR 10188 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 28.02.2008.
9. **Довгалев, А. М.** Технология магнитно-динамического раскатывания и ее реализация в машиностроении / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2014. – С. 10–15.*
10. **Свирепа, Д. М.** Совмещенная обработка резанием и магнитно-динамическим накачиванием / Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2017. – С. 48–49.*
11. **Свирепа, Д. М.** Особенности конструирования комбинированного магнитно-динамического раскатника / Д. М. Свирепа, А. С. Семёнова // *Образование, наука и производство в*



XXI веке : современные тенденции развития : материалы Юбилейной междунар. конф. – Могилев, 2016. – С. 132.

12. Магнитно-динамические инструменты для упрочнения наружных поверхностей вращения / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – № 4. – С. 56–62.

13. Инструменты для магнитно-динамического упрочнения поверхностей деталей машин / Д. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 94–97.

14. Двухрядные магнитно-динамические инструменты / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 2 (37). – С. 12–20.

15. **Довгалев, А. М.** Магнитно-динамическое упрочнение плоских поверхностей / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2007. – С. 55.

16. Упрочняющий инструмент : пат. BLR 15364 / А. М. Довгалев, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков, С. А. Сухоцкий. – Оpubл. 28.02.2012.

17. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей : пат. BLR 15262 / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 30.12.2011.

18. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей: пат. BLR 15263 / А. М. Довгалев, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков. – Оpubл. 30.12.2011.

Статья сдана в редакцию 20 декабря 2018 года

Дмитрий Михайлович Свирепа, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет. E-mail: svdima@tut.by.

Анна Сергеевна Семёнова, аспирант, Белорусско-Российский университет. E-mail: ann_li93@mail.ru.

Сергей Александрович Сухоцкий, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет. E-mail: darvin_serg@mail.ru.

Dzmitry Mikhailovich Svirepa, PhD (Engineering), Belarusian-Russian University. E-mail: svdima@tut.by.

Hanna Sergeevna Siamionava, postgraduate, Belarusian-Russian University. E-mail: ann_li93@mail.ru.

Sergey Aleksandrovich Sukhotsky, PhD (Engineering), Belarusian-Russian University. E-mail: darvin_serg@mail.ru.

