

УДК 621:787

ДВУХРЯДНЫЕ МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

**А. М. ДОВГАЛЕВ, С. А. СУХОЦКИЙ,
Д. М. СВИРЕПА, Д. М. РЫЖАНКОВ**

*Государственное учреждение высшего
профессионального образования*

«Белорусско-Российский университет», г. Могилев

Большой научно-практический интерес представляет новый метод магнитно-динамического упрочнения (МДУ), при котором упрочнение поверхности деформируемыми элементами осуществляется за счет энергии магнитного поля. Деформирование осуществляют свободно установленными в кольцевой камере деформируемыми элементами, не имеющими механической связи с корпусом инструмента. Согласно методу на деформирующие элементы воздействуют вращаемым (постоянным или переменным) магнитным полем и перемещают их вдоль упрочняемой поверхности [1].

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что МДУ внутренней поверхности втулок обеспечивает достижение следующих характеристик:

- снижение исходной шероховатости поверхности с Ra 12,5–6,3 мкм до Ra 0,8–0,4 мкм;
- упрочнение поверхностного слоя детали на глубину до 2 мм;
- увеличение диаметрального размера на 10–60 мкм.

Разработанный метод позволяет осуществлять упрочнение деталей с исходной твердостью поверхностного слоя до 45–50 HRC с подачами инструмента 20–800 мм/мин [2]–[7].

Конструкции магнитно-динамических инструментов зависят от типа производства, в котором они используются, вида упрочняемой поверхности детали и их технологического назначения.

В условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного производства инструменты проектируют под конкретный тип металлообрабатывающего оборудования.

В крупносерийном и массовом производстве упрочнение целесообразно осуществлять без применения металлорежущих станков на специальных установках, содержащих инструмент, а также привод вращения и подачи инструмента.

Одним из направлений усовершенствования метода МДУ является создание двухрядных магнитно-динамических инструментов для обработки валов, отверстий, плоских поверхностей, обеспечивающих интенсификацию процесса упрочнения и создание регулярного рельефа с оптимальными характеристиками.

На рис. 1 представлена установка для упрочнения наружной поверхности втулок из магнитопроводного материала. Она включает: диски 1, 2 и кольцевые камеры 3, 4, расположенные в одной плоскости симметрии. Кольцевая камера 3 одной стороной выходит в полость отверстия 5, а другой – соединена с кольцевой камерой 4. В кольцевой камере 3 установлены деформирующие шары 6 малого диаметра, а в камере 4 – шары-отражатели 7 большого диаметра. Для закрепления и намагничивания обрабатываемой детали 8 предусмотрены: оправка 9, центрирующий элемент 10 из немагнитного материала, кольцевые постоянные магниты 11, 12 с осевой намагни-

ченностью, фиксатор 13. Магниты 11, 12 взаимодействуют с торцами детали 8 соответственно полюсами *S* и *N*. Магнитный поток от магнитов 11, 12 равномерно замыкается на поверхностный слой детали 8 и обеспечивает ей магнитные свойства.

Диски 1, 2 закрепляют в резцедержателе 14 токарного станка (или на столе фрезерного станка), а оправку 9 – в патроне станка. Оправке 9 сообщают вращение, резцедержателю – движение подачи. Намагниченная поверхность вращаемой втулки 8 разгоняет магнитным полем деформирующие элементы 6 вдоль кольцевой камеры 3. Под действием возникающей центробежной силы деформирующие элементы 6 расходятся в радиальном направлении и периодически сталкиваются с шарами-отражателями 7. При столкновении с шарами-отражателями 7 деформирующие элементы 6 изменяют траекторию движения, взаимодействуют с поверхностью детали 8 и осуществляют ее динамическое упрочнение.

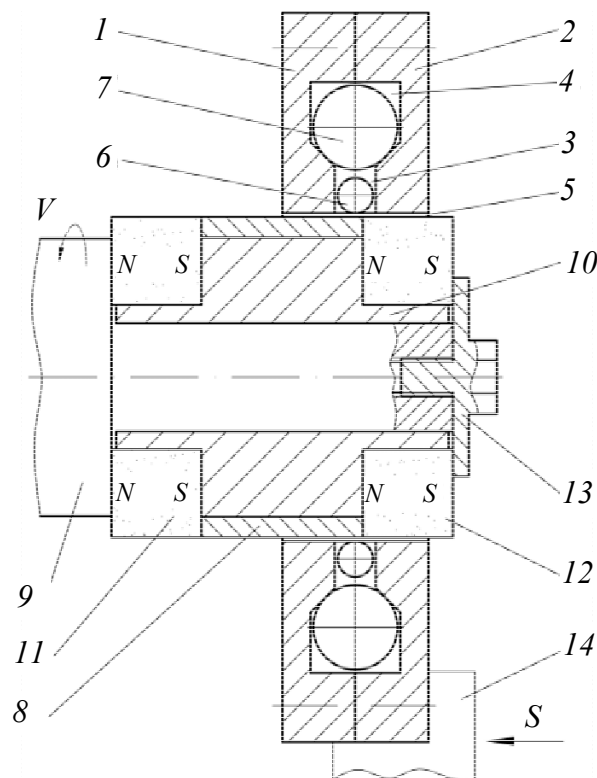


Рис. 1. Установка для динамического упрочнения наружной поверхности втулок

На рис. 2 изображен высокопроизводительный двухрядный магнитно-динамический раскатчик, предназначенный для одновременного упрочнения поверхностного слоя детали и формирования регулярного рельефа. Инструмент имеет: оправку 1, диски 2, 3, деформирующие элементы 4, шары-ударники 5, кольцевые камеры 6, 7, постоянные цилиндрические магниты 8 с осевой намагниченностью, предохранительную шайбу 9. Деформирующие элементы 4 и шары-ударники 5 размещены соответственно в кольцевых камерах 6, 7. В диске 2 с равномерным угловым шагом выполнены аксиально расположенные отверстия 10. Цилиндрические магниты 8 установлены в отверстиях 10 диска 2 непосредственно в зоне кольцевой камеры 7.

Оправку 1 фиксируют в шпинделе станка. Инструмент вводят в соосно расположенное отверстие упрочняемой детали 11. Сообщают инструменту вращение и перемещают с рабочей подачей. Магнитное поле от магнитов 8 разгоняет шары-ударники 5 в окружном направлении кольцевой камеры 7. Скорость вращения маг-

нитов 8 превышает скорость вращения шаров-ударников 5. При этом шары-ударники 5 периодически входят в зону магнитного поля. Гармоническое воздействие магнитного поля делает шары-ударники 5 виброактивными. Виброактивность шаров-ударников 5 передается деформирующим элементам 4, осуществляющим интенсивное деформирование поверхности.

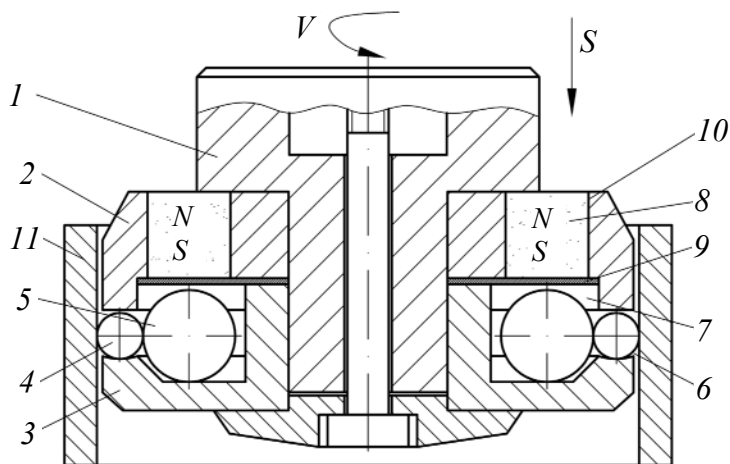


Рис. 2. Магнитно-динамический раскатник для упрочняющей обработки внутренней поверхности втулок

Для поверхностного пластического деформирования внутренней поверхности втулок на станках сверлильно-фрезерно-расточной группы в условиях серийного производства предназначено устройство, изображенное на рис. 3, отличительными особенностями которого являются простота, надежность и безопасность.

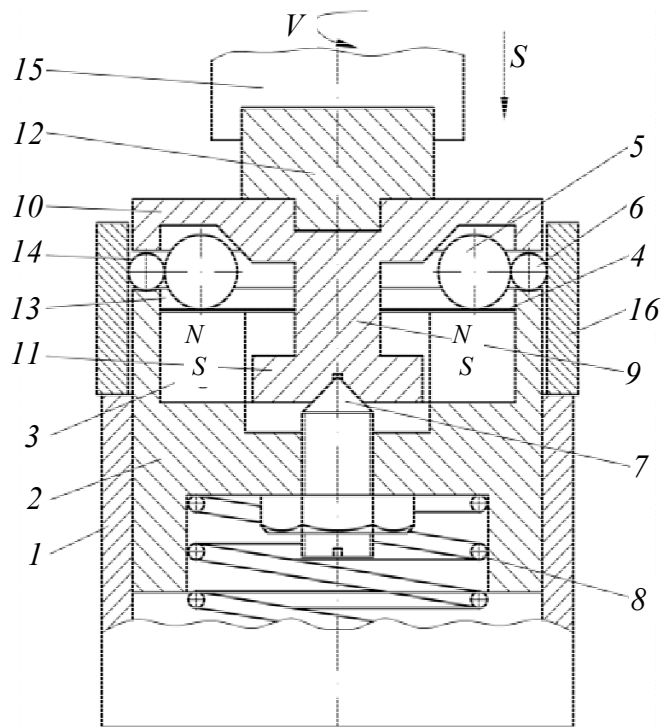


Рис. 3. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения

В состав устройства входят: корпус 1, шток 2, источник магнитного поля 3 с осевой намагниченностью, шайба 4 из антифрикционного материала, шары-ударники 5, деформирующие элементы 6, регулируемый конус 7, пружина 8, блок 9 с дисками 10, 11 из магнитопроводного материала, оправка 12. Диск 10, шайба 4 и шток 2 образуют две кольцевые камеры 13, 14 для размещения соответственно шаров-ударников 5 и деформирующих элементов 6.

Оправку 12 закрепляют в шпинделе 15 станка. Шпиндель 15 опускают вниз до контакта центрального отверстия блока 9 с регулируемым конусом 7. При этом диск 11 блока 9 входит в отверстие магнита 3 и располагается в зоне полюса S. Магнитный поток от полюса S магнита 3 посредством диска 11 замыкается на блок 9 и концентрируется на диске 10. Шары-ударники 5 находятся в симметричном магнитном поле, полюс N которого расположен на торцевой поверхности магнита 3, а полюс S — на диске 10. Жесткость магнитной связи шаров-ударников 5 с диском 10 возрастает.

Шпинделю 15 сообщают вращение и перемещают с подачей в осевом направлении. Вращение диска 10 обеспечивает движение шаров-ударников 5 вдоль кольцевой камеры 13 и их периодическое взаимодействие с деформирующими элементами 6. Деформирующие элементы 6 осуществляют упрочнение поверхности втулки 16.

Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей, изображенный на рис. 4, содержит: оправку 1, корпус 2, шайбу 3, шары-ударники 4, деформирующие элементы 5, кольцевую полость 6 для размещения шаров-ударников 4, а также осевую кольцевую полость 7 для расположения деформирующих элементов 5. На оправке 1 закреплен источник магнитного поля 8 в виде постоянного магнита с осевой намагниченностью, предназначенный для разгона шаров-ударников 4. Инструмент снабжен двумя дисками 9, 10 из магнитопроводного материала. На периферии дисков 9, 10 выполнены зубья 11, которые выходят в кольцевую полость 6 и размещены в зоне расположения шаров-ударников 4. Угловое расположение зубьев 11 дисков 9, 10 идентично, а их число соответствует числу шаров-ударников 4. При этом условии обеспечивается синхронизация частот вращения шаров-ударников 4 и корпуса 1 инструмента в процессе обработки.

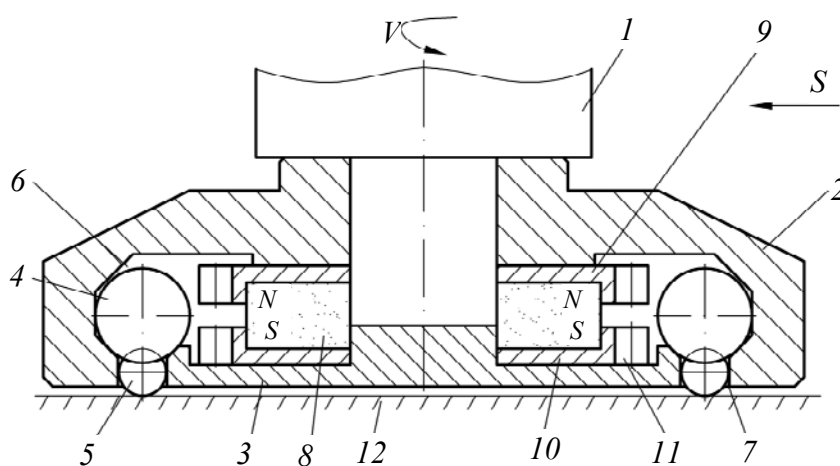


Рис. 4. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей с синхронизацией частот вращения корпуса и шаров-ударников

Инструмент работает следующим образом. Деталь 12 устанавливают на столе, а оправку 1 инструмента закрепляют в шпинделе станка. Шпинделю сообщают вращение и перемещают деталь 12 с подачей S относительно инструмента. Магнитный поток от источника магнитного поля 8 посредством магнитопроводных дисков 9, 10 подводится к зубьям 11. Намагниченные зубья 11 дисков 9, 10 осуществляют пере-

мещение шаров-ударников 4 со скоростью вращения корпуса 2 инструмента. Деформирующие элементы 5 под действием динамической силы от шаров-ударников 4 внедряются в поверхность детали 12 и формируют новую упрочненную поверхность с лунчатообразным рельефом.

Высокопроизводительный инструмент для упрочняющей обработки плоских поверхностей, представленный на рис. 5, включает: оправку 1, корпус 2, внутреннее и наружное кольца 3, 4, шары-ударники 5, деформирующие элементы 6, кольцевую полость 7 для размещения шаров-ударников 5, кольцевую полость 8 для деформирующих элементов 6, источник магнитного поля 9 в виде постоянного магнита.

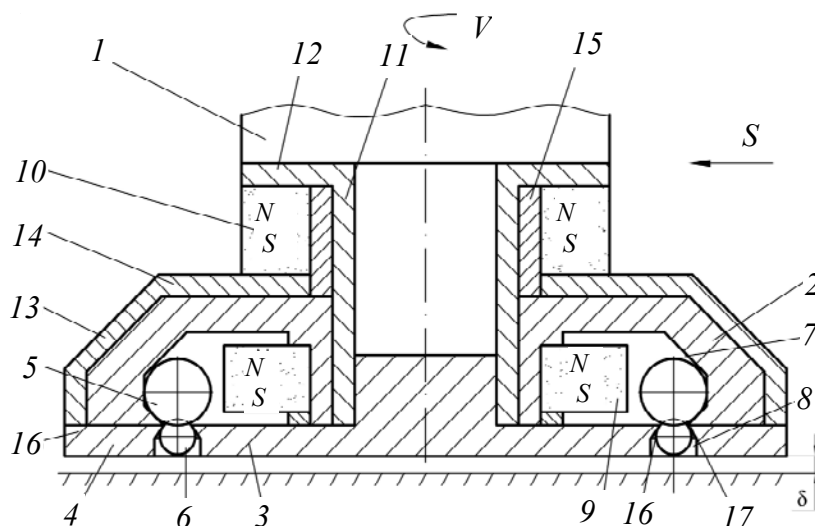


Рис. 5. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей с сообщением деформирующим элементам дополнительных колебаний

Инструмент имеет механизм сообщения деформирующим элементам 6 дополнительных колебаний в осевом направлении, выполненный в виде постоянного магнита 10, стакана 11 с фланцем 12, стакана 13 с фланцем 14. Магнит 10 насажен на цилиндрическую поверхность стакана 11 посредством немагнитной втулки 15 и взаимодействует одним торцом с фланцем 12 стакана 11, а другим – с фланцем 14 стакана 13. На кольцах 3 и 4 выполнены концентраторы магнитного поля в виде кольцевых кромок 16, 17, выходящие в кольцевую полость 8.

Инструмент закрепляют в шпинделе станка и подводят к детали, обеспечивая зазор δ между его торцом и обрабатываемой поверхностью. Шпинделю сообщают вращение, а детали – движение подачи. При вращении инструмента механическая энергия вращения оправки 1 от магнита 9 передается шарам-ударникам 5. В результате шары-ударники 5 разгоняются в окружном направлении кольцевой полости 7. Магнитный поток от магнита 10 подводится при помощи стаканов 11, 13 с фланцами 12, 14, колец 3, 4 к кольцевым концентраторам магнитного поля 16, 17. Магнитное поле фокусируется на кольцевых кромках 16, 17 и притягивает к себе деформирующие элементы 6. Шары-ударники 5, перемещаясь вдоль кольцевой полости 7, ударяют по выступающим в кольцевую полость 7 деформирующим элементам 6. Деформирующие элементы 6 от шаров-ударников 5 получают энергию удара, смещаются в направлении действия силы и сталкиваются с поверхностью упрочняемой детали. Столкнувшись с деталью, деформирующие элементы 6 часть своей энергии расходуют на пластическое деформирование поверхностного слоя, затем отражаются от поверхности и снова смещаются к кольцевым кромкам 16, 17 инструмента. Да-

лее циклы взаимодействия шаров-ударников 5 с деформирующими элементами 6 и деформирующих элементов 6 с обрабатываемой поверхностью повторяются.

Инструмент, представленный на рис. 6, снабжен оригинальным приводом перемещения шаров-ударников, причем все его вращающиеся элементы расположены внутри неподвижного корпуса.

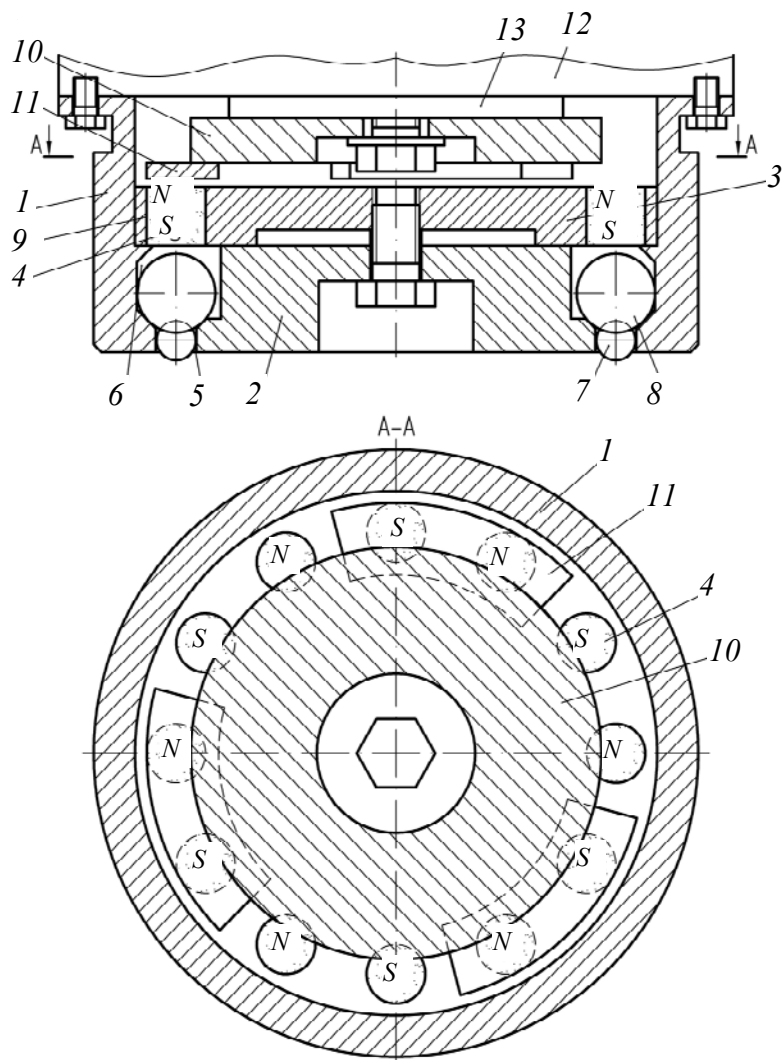


Рис. 6. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских поверхностей с созданием смещающегося в окружном направлении магнитного поля

Инструмент включает: корпус 1, стакан 2, диск 3, цилиндрические постоянные магниты 4 с осевой намагниченностью. Корпус 1 и стакан 2 образуют две кольцевые камеры 5 и 6, в которых расположены соответственно деформирующие элементы 7 и шары-ударники 8. В диске 3 выполнено четное количество осевых отверстий 9 с одинаковым угловым шагом, в которых установлены цилиндрические магниты 4 с последовательным чередованием полюсов S и N. Диск 3 находится над кольцевой камерой 6, а продольная ось магнитов 4 проходит через ось симметрии кольцевой камеры 5.

Инструмент снабжен устройством замыкания полюсов смежных магнитов 4, выполненным в виде держателя 10 и магнитопроводных пластин 11. Деталь базируют на столе станка. Корпус 1 инструмента жестко соединяют с неподвижной бабкой 12. Держатель 10 закрепляют в шпинделе 13 станка. Шпинделю 13 сообщают вращение,

а детали – движение продольной подачи. Шпиндель 13 вращает держатель 10 с магнитопроводными пластинами 11. Пластины 11 производят последовательное замыкание полюсов S и N смежных магнитов. В кольцевой камере 6 с шарами-ударниками 8 образуются периодически чередующиеся области магнитного поля с максимальной и минимальной напряженностью, смещающиеся в направлении вращения пластин 11. В результате полученное вращаемое магнитное поле перемещает шары-ударники 8 вдоль кольцевой камеры 6 инструмента. Шары-ударники 8 периодически ударяют по деформирующим элементам 7. Деформирующие элементы 7 передают энергию удара упрочняемой поверхности, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование.

С целью повышения технологических возможностей инструмента, изображенного на рис. 4, было исследовано влияние скорости вращения и подачи инструмента на шероховатость упрочняемой поверхности. Упрочняющую обработку плоских заготовок осуществляли на вертикально-фрезерном станке модели ВФ130. Размеры заготовок: высота – 30 мм; ширина – 190 мм; длина – 300 мм. Материал заготовок: сталь 45 (230–240 НВ), алюминиевый сплав Д16Т (90–100 НВ). Поверхность под упрочнение обрабатывали фрезерованием торцевой фрезой с твердосплавными вставками Т15К6 на следующих режимах: $V = 250$ м/мин, $S = 200$ мм/мин, $t = 1,5$ мм. Шероховатость поверхности заготовок после фрезерования – $Ra = 6,3$ – $5,0$ мкм. В качестве деформирующих элементов использовали шарики диаметром 10 мм из стали ШХ15 (62–65 HRC₃), в качестве шаров-ударников – шарики диаметром 20 мм из стали ШХ15 (62–65 HRC₃). Источник магнитного поля – постоянный магнит с размерами ($D \times d \times h$) 71 x 27 x 14 мм. Материал магнита SmCo₅. Материал зубчатого диска – сталь 3, форма зубьев диска – прямобочная, размеры зуба – 10 x 7 x 8 мм. Расстояние между зубом и шаром-ударником – 2 мм. Величина магнитной индукции в зоне зубьев диска – 0,45 Тл. Количество зубьев диска – 16 шт, количество шаров-ударников – 16 шт., количество деформирующих элементов – 34 шт. В качестве СОЖ использовали масло промышленное.

Шероховатость упрочненной поверхности измеряли на профилометре-профилографе модели 253.

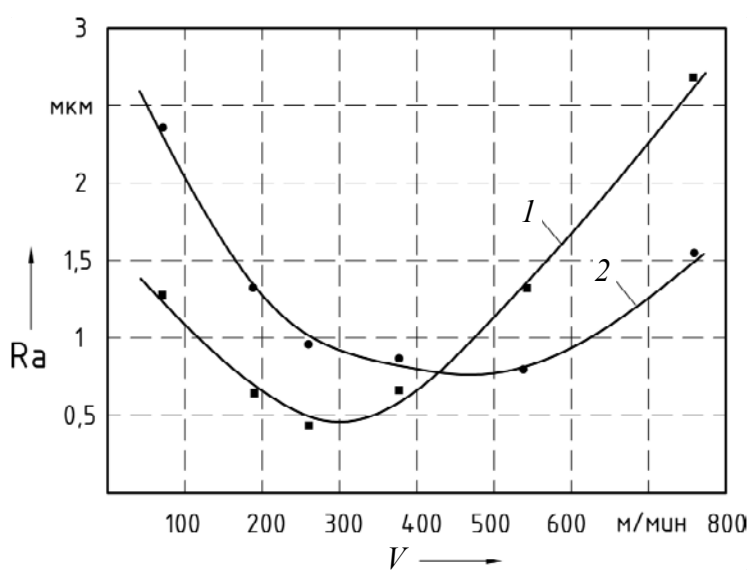


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от скорости вращения инструмента:
1 – сталь 45; 2 – алюминиевый сплав Д16Т ($S = 100$ мм/мин)

Таким образом, представленные в работе оригинальные конструкции двухрядных магнитно-динамических инструментов для упрочняющей обработки наружных, внутренних поверхностей вращения и плоских деталей позволяют на стадии проектирования операции упрочняющей обработки выбирать наиболее приемлемую для условий производства конструкцию инструмента, обеспечивающую повышение долговечности выпускаемых изделий.

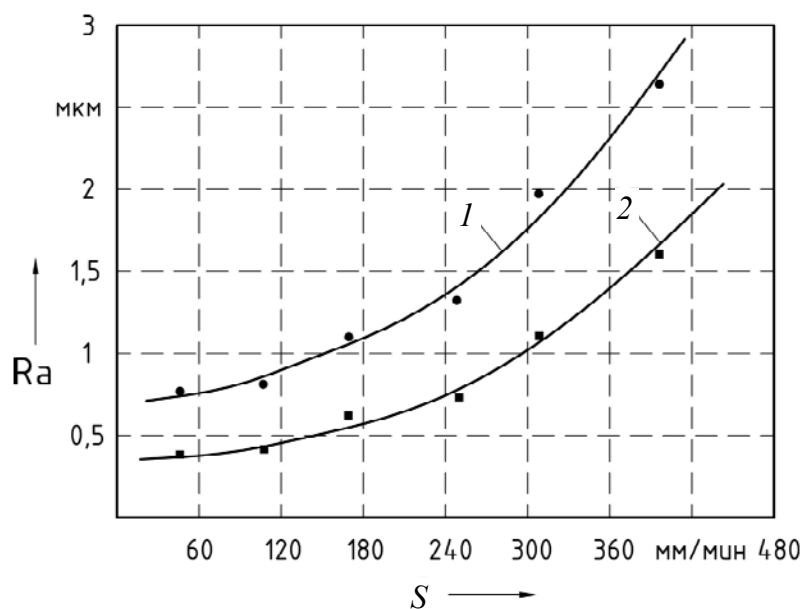


Рис. 8. Зависимость шероховатости поверхности от подачи:
1 – сталь 45; 2 – алюминиевый сплав Д16Т ($V = 260$ м/мин)

Полученные экспериментальные зависимости (рис. 7, 8) позволяют технологам назначать высокопроизводительные режимы упрочняющей обработки плоских поверхностей и обеспечивать при этом заданный чертежом параметр Ra шероховатости поверхности.

Литература

1. Довгалец, А. М. Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А. М. Довгалец, Д. М. Свирепа, Д. М. Рыжанков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 30.
2. Довгалец, А. М. Основы классификации способов и инструментов для ППД в магнитном поле / А. М. Довгалец // Современные направления развития производственных технологий и робототехника : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : ММИ, 1999. – С. 113.
3. Довгалец, А. М. Магнитно-динамическое упрочнение плоских поверхностей / А. М. Довгалец, С. А. Сухоцкий, Д. М. Свирепа // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 1. – С. 93.
4. Пат. 2047470 РФ, МКИ⁶ В24В39/02. Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалец (РБ). – № 4732047/08 ; заяв. 22.08.89 ; опубл. 10.11.95, Бюл. № 31. – 3 с. : ил.
5. Пат. 1815190 РФ, МКИ⁶ В24В39/02. Инструмент для поверхностного пластического деформирования / А. М. Довгалец (РБ). – № 473323283/27 ; заяв. 28.08.89 ; опубл. 15.05.93, Бюл. № 18. – 3 с. : ил.

6. Пат. 10188 РБ, МПК В 24В 39/00. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки / А. М. Довгалева, Д. М. Свирева, Д. М. Рыжанков ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20050605 ; заявл. 16.16.20054 ; опубл. 28.02.2007.
7. Пат. 10065 РБ, МПК В 24В 39/02. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки / А. М. Довгалева, Д. М. Свирева, Д. М. Рыжанков ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20050604 ; заявл. 16.16.20054 ; опубл. 28.02.2007.

Получено 18.11.2008 г.