

а – скорость перемещения луча –  $v = 300$  мм/мин; плотность энергии –  $q = 2 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>  
 б – скорость перемещения луча –  $v = 200$  мм/мин; плотность энергии –  $q = 4 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>

**Рис. 3.** Микроструктура плазменно-напыленного покрытия с лазерным модифицированием

Для всех образцов, модифицированных лазерным излучением, можно выделить 3 характерных типа микроструктуры: доэвтектический, эвтектический (квазиэвтектический), заэвтектический. В данном случае речь идет о квазиэвтектической структуре, так как для покрытий чистый эвтектический (квазиэвтектический) тип структуры был получен при параметрах лазерной обработки: скорость перемещения луча  $v = 300$  мм/мин; плотность энергии  $q = 1 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>; в ряде случаев наблюдалось частичное присутствие квазиэвтектической структуры в модифицированном покрытии.

Микроморфология эвтектики, ее количество относительно избыточной фазы, как это следует относительно представлений о классических методах обработки, зависит от ряда факторов:

- 1) от плотности энергии и скорости охлаждения расплава: чем быстрее охлаждение, тем больше возрастает доля квазиэвтектики и близких состояний [10];
- 2) состава жидкости в точке эвтектики [10];
- 3) от размеров и теплопроводности изделия [1].

Данные микроструктурного анализа полностью подтверждаются результатами микродюрOMETРИЧЕСКИХ исследований.

**Заключение.** Таким образом, в результате исследования топологии, микроструктуры, фазового состава, микротвердости, пористости плазменно-напыленных и модифицированных лазером покрытий из диффузионно-легированного аустенитного порошка ПР-Х18Н9 установлено, что лазерное модифицирование позволяет уменьшить пористость, обеспечить мелкодисперсность и однородность структуры с повышенными физико-механическими свойствами, а также предположить, что это обеспечит лучшую сцепляемость, триботехнические и эксплуатационные свойства в целом.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. – Москва: ЛВМ-СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 832 с.
2. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. – Москва: ЛВМ-СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 688 с.
3. Пантелеенко, А.Ф. Исследование морфологии и микроструктуры диффузионно-легированных порошковых самофлюсующихся материалов / А.Ф. Пантелеенко // Сварка и родственные технологии: сборник докладов международного симпозиума. Минск, 12 апреля 2012. – С. 150–152.
4. Витязь, П.А. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с.
5. Przybylowicz, Karol. Teoria i praktyka borowania stali / Karol Przybylowicz. – Kielce: Wydawnictwo Politechniki Swietokrzyskiej w Kielcach, 2001. – 246 p.
6. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. – Москва: Машиностроение, 1989. – 304 с.
7. Иващенко, С.А. Теоретические и технологические основы формирования многофункциональных газотермических и вакуумно-плазменных покрытий: автореф. дисс. ... док. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01 / С.А. Иващенко. – Минск: БГПА, 2002. – 42 с.
8. Parallel laser melted tracks: Effects on the wear behaviour of plasma-sprayed Ni-based coatings / D. Felgueroso, R. Vijande, J.M. Cuetos, R. Tucho, A. Hernandez // Wear. 2008. – Vol. 264. – P. 257–263.
9. Закономерности электронно-лучевого воздействия на борсодержащие материалы и принципы оптимизации электронно-лучевого оборудования и технологий упрочнения и восстановления / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под общ. ред. Ф.И. Пантелеенко. – Минск: Технопринт; Полоцк: ПГУ, 2005. – 119 с.
10. Таран, Ю.Н. Структура эвтектических сплавов / Ю.Н. Таран, В.Н. Мазур. – М.: Металлургия, 1978. – 312 с.

Материал поступил в редакцию 18.01.13

#### PANTELEENKO A.F. The examination of morphology and microstructure of coatings made of diffusion-alloyed powder ПР-Х18Н9 received with plasma spraying and subsequent laser modification

The morphology and microstructure of plasma-sprayed coatings made of diffusion-alloyed powder ПР-Х18Н9. The changes of characteristics after laser modification are studied.

УДК 621:787

**Довгалев А.М.**

### МАГНИТНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

**Введение.** В машиностроении существует широкая номенклатура изделий типа «цилиндр», имеющих большую длину, использу-

емых в пневмо- и гидросистемах различных машин и механизмов.

К внутренней рабочей поверхности пневматических и гидравли-

**Довгалев Александр Михайлович**, декан факультета довузовской подготовки и профориентации Белорусско-Российского университета. Беларусь, БРУ, 212000, г. Могилев, пр. Мира, 43.

ческих цилиндров предъявляются высокие требования по качеству на финишных операциях технологического процесса.

Наиболее перспективным методом повышения качественных характеристик рабочей поверхности цилиндра является поверхностное пластическое деформирование (ППД), позволяющее получить упрочненный поверхностный слой с благоприятным рельефом, имеющий высокие эксплуатационные свойства [1–5].

Традиционно в технологических процессах изготовления цилиндров упрочняющей обработке ППД предшествуют операции чистового растачивания или зенкерования отверстия. Финишную отделочно-упрочняющую обработку поверхности отверстия осуществляют раскатниками жесткого или упругого типа. Упрочнение поверхности изделия раскатниками жесткого типа характеризуется следующими особенностями: для обеспечения равномерных характеристик упрочнения требуется высокая исходная точность диаметрального размера отверстия; процесс осуществляется с большими силами деформирования; изделие сообщают вращение; применяют специальную державку на длину обрабатываемого изделия, связывающую раскатник с суппортом станка. Указанные обстоятельства позволяют использовать раскатники жесткого типа для упрочнения поверхности отверстия цилиндров относительно небольшой длины, имеющих высокую жесткость и при невысоких требованиях к качеству поверхности.

Наиболее перспективным является упрочнение поверхности отверстия цилиндров инструментами упругого типа, обеспечивающими высокие качественные характеристики модифицированного поверхностного слоя. Среди известных способов поверхностного пластического деформирования инструментами упругого действия большой научно-практический интерес представляет метод магнитно-динамического раскатывания, основанный на использовании энергии магнитного поля. Согласно методу, деформирующие шары вводят в отверстие обрабатываемой детали, разгоняют их в окружном направлении вращаемым магнитным полем инструмента и перемещают с рабочей подачей вдоль упрочняемой поверхности. Находясь в магнитном поле, деформирующие шары намагничиваются и с высокой динамической активностью воздействуют на упрочняемую поверхность, осуществляя ее поверхностное пластическое деформирование [6–11].

Для осуществления магнитно-динамического упрочнения поверхности отверстия разработаны инструменты с магнитным приводом деформирующих шаров, закрепляемые в шпинделе металлорежущих станков [12–21]. Однако эти инструменты не применяются для упрочнения внутренней поверхности деталей большой длины.

В связи с этим актуальной задачей является разработка автономных магнитно-динамических инструментов, позволяющих осуществлять отделочно-упрочняющую обработку поверхности отверстия пневматических и гидравлических цилиндров большой длины без применения металлорежущих станков.

На рисунке 1 изображена схема отделочно-упрочняющей обработки поверхности отверстия цилиндра с применением устройства, имеющего магнитный привод деформирующих шаров [22].

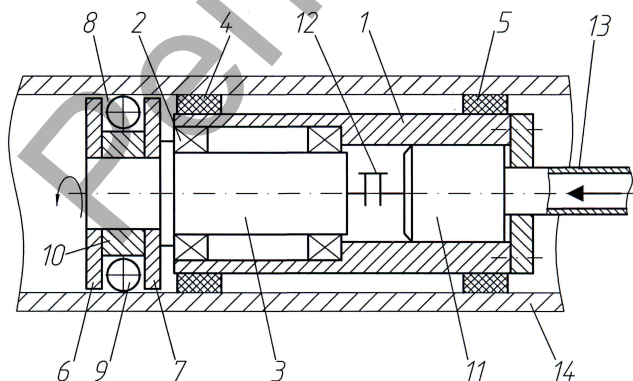
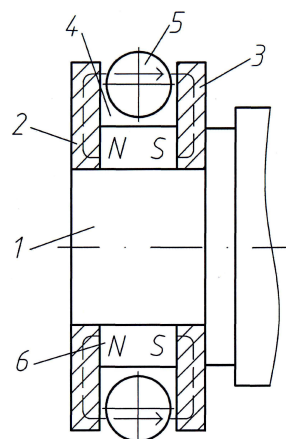


Рис. 1. Схема процесса магнитно-динамического раскатывания отверстия цилиндра большой длины

Устройство содержит: корпус 1; подшипниковые опоры 2; шпиндель 3; направляющие кольца 4, 5; магнитопроводные диски 6, 7; кольцевую камеру 8; деформирующие шары 9; магнитный привод деформирующих шаров 10, включающий магнитную систему 10; электро- или пневмодвигатель 11 и муфту 12. Деформирующие шары 9 установлены в кольцевой камере 8 с возможностью окружного вращения. Для перемещения корпуса 1 устройства в осевом направлении предусмотрена тяга 13.

Упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Цилиндр 14 располагают горизонтально и базируют в призмах технологического приспособления, основу которого составляют сварная рама и привод осевой подачи. Корпус 1 устройства посредством направляющих колец 4, 5 вводят в отверстие упрочняемого цилиндра 14. Шпинделю 3 от электро- или пневмодвигателя 11 сообщают вращение, а корпусу 1 – движение осевой подачи. Вращаемое магнитное поле, создаваемое магнитной системой 10 устройства, воздействует на деформирующие шары 9 и перемещает их в окружном направлении кольцевой камеры 8. Возникающая при этом центробежная сила прижимает деформирующие шары 9 к упрочняемой поверхности. Под действием центробежной и магнитной сил деформирующие шары 9 осуществляют динамическое упрочнение поверхности, снижая исходные микронеровности и формируя модифицированный слой с высокими эксплуатационными характеристиками.

Магнитную систему упрочняющего устройства в зависимости от требуемой величины и характеристик динамического воздействия деформирующих шаров на обрабатываемую поверхность конструктивно выполняют по одной из представленных схем (рис. 2–4).



1 – шпиндель; 2, 3 – магнитопроводные диски; 4 – кольцевая камера; 5 – деформирующие шары; 6 – кольцевой постоянный магнит

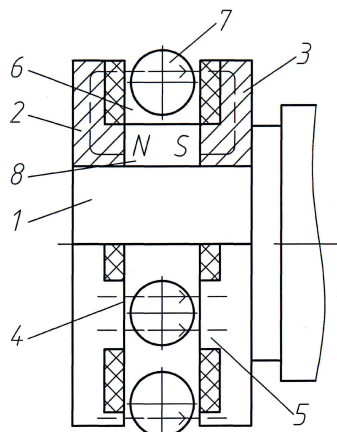
Рис. 2. Схема магнитной системы упрочняющего устройства с кольцевым постоянным магнитом

Магнитная система с использованием кольцевого постоянного магнита (рис. 2) обеспечивает непрерывное магнитное поле вдоль кольцевой камеры устройства и постоянное магнитное воздействие на деформирующие шары. В процессе обработки деформирующие шары вращаются асинхронно относительно шпинделя устройства. Процесс поверхностного пластического деформирования осуществляется без низкочастотных колебаний деформирующих шаров, а упрочненная поверхность имеет прямолинейный профиль [23].

Магнитная система с концентраторами магнитного поля в виде периодически расположенных выступов, например, торцовых зубьев на магнитопроводных дисках (рис. 3), обеспечивает повышение жесткости магнитной связи деформирующих шаров со шпинделем устройства. В результате деформирующие шары вращаются синхронно со шпинделем устройства, что повышает эффективность процесса упрочнения [18].

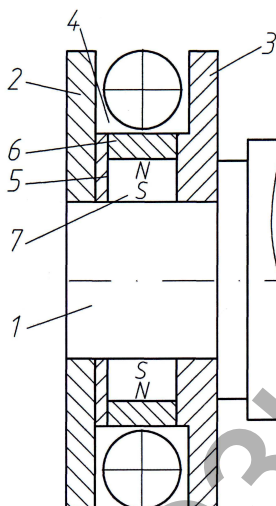
Магнитная система с использованием цилиндрических постоянных магнитов, установленных в радиальных отверстиях одного из дисков (рис. 4), обеспечивает дискретное магнитное поле вдоль кольцевой камеры устройства и, как следствие, периодическое маг-

нитное воздействие на деформирующие шары. При этом деформирующие шары получают окружное вращение и периодические радиальные колебания. В процессе обработки деформирующие шары осуществляют динамическое упрочнение поверхности цилиндра [24].



1 – шпиндель; 2, 3 – магнитопроводы диски; 4, 5 – концентраторы магнитного поля в виде торцовых зубьев; 6 – кольцевая камера; 7 – деформирующие шары; 8 – кольцевой постоянный магнит

Рис. 3. Схема магнитной системы упрочняющего устройства с концентраторами магнитного поля



1 – шпиндель; 2, 3 – диски из немагнитопроводного материала; 4 – кольцевая камера; 5 – радиальные отверстия; 6 – цилиндрические магнитопроводы; 7 – цилиндрические постоянные магниты

Рис. 4. Схема магнитной системы упрочняющего устройства с цилиндрическими постоянными магнитами

Однако разработанное устройство (рис. 1) имеет вращающиеся элементы, удерживающие деформирующие шары. В связи с этим у торца цилиндра образуется необработанный участок поверхности, для упрочнения которого необходимо переустанавливать упрочняющее устройство.

Этих недостатков лишены схемы упрочняющей обработки, реализуемые с помощью магнитно-динамических инструментов, описанных ниже.

Упрочняющий инструмент, изображенный на рис. 5, содержит: диски 1, 2 из немагнитопроводного материала; кольцевую камеру 3; деформирующие шары 4; оправку 5; цилиндрический магнитопровод 6 с радиальными пазами 7; трехфазные обмотки переменного тока 8; цилиндрические кольца 9, 10; преобразователь частоты 11. Деформирующие шары 4 установлены с возможностью окружного вращения в кольцевой камере 3. Трехфазные обмотки переменного тока 9 размещены в радиальных пазах 7 цилиндрического магнитопровода 6.

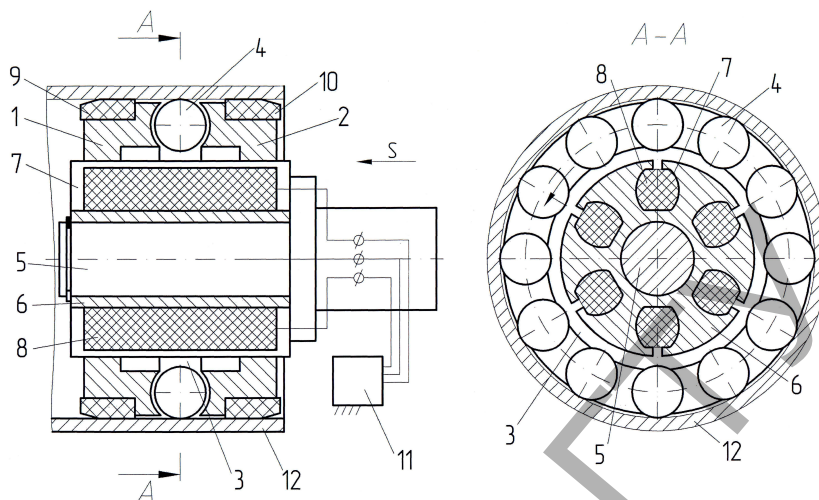


Рис. 5. Магнитно-динамический раскатник с электромагнитным приводом деформирующих шаров

Упрочняющую обработку осуществляют следующим образом. Инструмент вводят в отверстие обрабатываемого цилиндра 12. Центрирующие кольца 9, 10 входят в контакт с поверхностью отверстия и совмещают продольные оси инструмента и цилиндра 12. На трехфазные обмотки переменного тока 8 с помощью преобразователя частоты 11 подают трехфазное напряжение переменного тока. Вследствие возникающего электромагнитного возбуждения обмоток 8 образуется внешнее (относительно неподвижного цилиндрического магнитопровода 6) вращающееся электромагнитное поле, выходящее в кольцевую камеру 3 инструмента. Под действием вращающегося электромагнитного поля деформирующие шары 4 разгоняются вдоль кольцевой камеры 3 инструмента. Одновременно инструмент с помощью механизма подачи технологического приспособления перемещают вдоль обрабатываемой поверхности. Возникающая в процессе вращения деформирующих шаров 4 центробежная сила прижимает их к упрочняемой поверхности отверстия детали 12 и обеспечивает осуществление процесса поверхностного пластического деформирования.

Регулирование частоты вращения деформирующих шаров 4 обеспечивают изменением угловой скорости вращения электромагнитного поля, подавая на трехфазные обмотки 9 переменный ток соответствующей частоты и напряжения.

Недостаток инструмента – его относительно большие диаметральные размеры вследствие использования для создания вращаемого электромагнитного поля трехфазных обмоток переменного тока. В связи с этим инструмент не позволяет упрочнять поверхность отверстия цилиндров, имеющих небольшие диаметральные размеры, что снижает его технологические возможности.

Магнитно-динамический раскатник, разгоняющий деформирующие шары вращаемым магнитным полем, создаваемым цилиндрическими постоянными магнитами (рис. 6), содержит: сборный корпус, состоящий из двух частей 1, 2; полости 3, 4; кольцевые камеры 5, 6; деформирующие шары 7, 8; магнитный привод деформирующих шаров, включающий цилиндрические магнитопроводы 9, 10; ступенчатый вал 11; подшипниковые опоры 12, 13; конические державки 14, 15; цилиндрические постоянные магниты 16, 17; муфту 18; электро- или пневмопривод 19. Цилиндрические магнитопроводы 9, 10 запрессованы в равномерно расположенных в окружном направлении отверстиях 20, 21, соединяющих внутренние полости 3, 4 с кольцевыми камерами 5, 6. Поверхности цилиндрических магнитопроводов 9, 10 выполнены заподлицо с торцами 22, 23 кольцевых камер 5, 6 инструмента. Количество цилиндрических магнитопроводов 9, 10 выполнено четным, а расстояние между краями смежных магнитопроводов не превышает величину диаметра деформирующих шаров 7, 8. Ступенчатый вал 11 установлен в корпусе посредством подшипниковых опор 12, 13 и жестко соединен с коническими державками 14, 15.

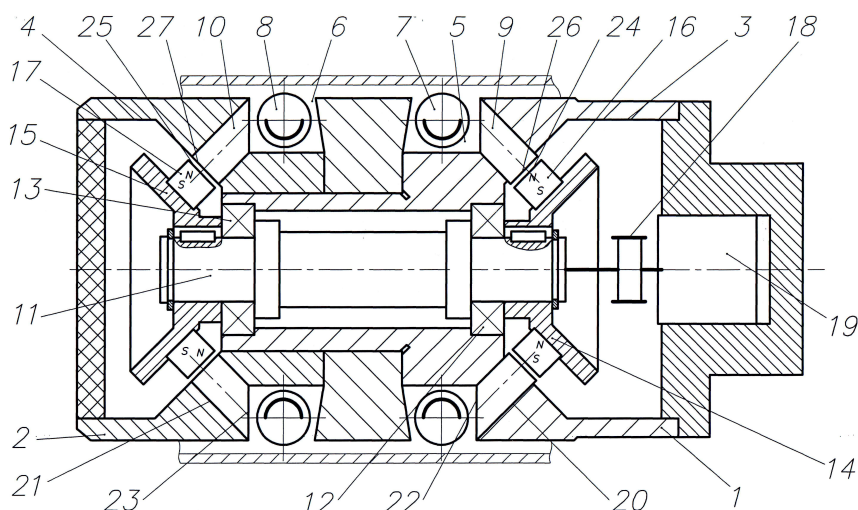


Рис. 6. Магнитно-динамический раскатчик с приводом деформирующих шаров «бегущей волной» магнитного поля

На конических державках 14, 15 закреплены цилиндрические постоянные магниты 16, 17. Торцы 24, 25 цилиндрических постоянных магнитов 16, 17 установлены с зазором к торцам 26, 27 цилиндрических постоянных магнитопроводов 9, 10, выходящим во внутренние полости 3, 4 корпуса инструмента. Цилиндрические постоянные магниты 16, 17 равномерно расположены в окружном направлении, а их количество в два раза меньше количества цилиндрических магнитопроводов 9, 10. Ступенчатый вал 7 посредством муфты 18 соединен с электро- или пневмоприводом 19. Части 1, 2 корпуса, ступенчатый вал 11, конические державки 14, 15 выполнены из немагнитопроводного материала, что исключает рассеивание магнитного поля.

Инструмент вводят в отверстие неподвижного цилиндра. посредством электро- или пневмопривода 19 ступенчатому валу 11 сообщают вращение. Вращение от вала 11 передается цилиндрическим постоянным магнитам 16, 17, закрепленным на конических державках 14, 15. Вращаясь, цилиндрические постоянные магниты 16, 17 периодически совмещаются с цилиндрическими магнитопроводами 9, 10. Вследствие этого в кольцевых камерах 5, 6 возникает магнитное поле. Причем магнитное поле смещается в направлении вращения магнитов 16, 17, т.е. образуется «бегущая волна» магнитного поля.

Вращаемое магнитное поле воздействует на деформирующие шары 7, 8 и разгоняет их в окружном направлении кольцевых камер 5, 6 инструмента. Деформирующие шары 7, 8 под действием центробежной и магнитной сил осуществляют упрочнение поверхностного слоя детали.

Главным преимуществом схем упрочнения поверхности представленными в работе магнитно-динамическими инструментами является отсутствие вращения обрабатываемого изделия. Для реализации процесса упрочнения не требуется использование металлорежущих станков.

**Заключение.** Представленные в работе прогрессивные конструкции автономных инструментов для магнитно-динамического упрочнения позволяют выбрать наиболее приемлемую схему обработки, конструкцию и магнитную систему инструмента для конкретных производственных условий при решении сложных технологических задач, связанных с повышением качественных характеристик внутренней поверхности цилиндров большой длины, причем без применения металлообрабатывающего оборудования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ящерицин, П.И. Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении / П.И. Ящерицин, А.П. Минаков. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 215 с.
2. Минаков, А.П. Технологическое обеспечение пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А.П. Минаков,

А.А. Бунос // Под ред. П.И. Ящерицина. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 304 с.

3. Сулима, А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
4. Сулов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А.Г. Сулов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
5. Рыжов, Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств машин / Э.В. Рыжов, А.Г. Сулов, В.П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
6. Довгалец, А.М. Классификация инструментов для магнитно-динамического упрочнения / А.М. Довгалец, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков // Вестн. Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 2. – С. 30–38.
7. Довгалец, А.М. Инструменты для магнитно-динамического упрочнения поверхностей деталей машин / А.М. Довгалец, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков // Вестн. Брестского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 94–97.
8. Довгалец, А.М. Математическое моделирование процесса магнитно-динамического раскатывания / А.М. Довгалец, И.И. Маковецкий, Д.М. Свирица // Вестн. Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 26–30.
9. Довгалец, А.М. Двухрядные магнитно-динамические инструменты / А.М. Довгалец, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков // Вестн. Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2009. – № 2. – С. 12–20.
10. Довгалец, А.М. Магнитно-динамические инструменты для упрочнения наружных поверхностей вращения / А.М. Довгалец, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков // Вестн. БГСХА. – 2009. – № 4. – С. 174–178.
11. Довгалец, А.М. Математическое моделирование магнитно-динамического инструмента для упрочняющей обработки плоских поверхностей / А.М. Довгалец, Н.А. Леванович, С.А. Сухоцкий, Д.М. Свирица // Вестн. Белорусско-Российского университета. – 2010. – № 1. – С. 55–65.
12. Способ поверхностного пластического деформирования поверхности вращения и инструмент для его осуществления: пат. 2052331 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалец (РБ). – № 4854644/08; заявлено 27.07.90; опубл. 20.01.96. – Бюл. № 2. – 6 с; ил.
13. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. 2068770 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалец (РБ). – № 4922547/27; заявл. 29.03.91; опубл. 10.11.96. – 1996. – Бюл. № 31. – 7 с; ил.
14. Способ поверхностного пластического деформирования и инструмент для его осуществления: пат. 2089373 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалец (РБ). – № 4924841/02; заявл. 05.04.91; опубл. 10.09.97. – 1997. – Бюл. № 25. – 7 с; ил.
15. Способ отделочно-упрочняющей обработки и инструмент для его осуществления: пат. 2029667 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалец (РБ). – №4400120/27; заявл. 29.03.88; опубл. 27.02.95. – 1995. – Бюл. № 6. – 5с; ил.
16. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 10065 РБ, МПКВ24В39/02 / А.М. Довгалец, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос., ун-т. – № а20050604; заявл. 16.06.2005. опубл. 30.12.2007. – 1995.
17. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 11531 РБ, МПКВ24В39/00 / А.М. Довгалец, Д.М. Свирица, Д.М. Рыжанков; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20060637; заявл. 27.06.2006; опубл. 28.02.2009. – 2009.
18. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 11536 РБ, МПКВ24В39/00 / А.М. Довгалец, Д.М. Рыжанков, Д.М. Свирица

- па; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20060760; заявл. 20.07.2006; опубл. 28.02.2009. – 2009.
19. Устройство для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 15021 РБ, МПКВ24В39/02 / А.М. Довгалев, Д.М. Свирепа, Д.М. Рыжанков, С.А. Сухоцкий; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20091610; заявл. 13.11.2009; опубл. 30.10.2011.
20. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 15022 РБ, МПКВ24В39/02. / А.М. Довгалев, С.А. Сухоцкий, Д.М. Рыжанков, Д.М. Свирепа; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а20091853; заявл. 23.12.2009; опубл. 30.10.2011.
21. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 2068769 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалев (РБ). – № 4733445/08; заявл. 28.08.89; опубл. 10.11.96, Бюл. № 31. – 4с.; ил.
22. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки: пат. 2068764 РФ, МКИ В24В39/02 / А.М. Довгалев (РБ). – № 4698344/08; заявл. 31.05.89; опубл. 10.11.96, Бюл. № 31. – 4с.; ил.
23. Инструмент для поверхностного пластического деформирования: пат. 2047471 РФ, МКИ6В24В39/02 / А.М. Довгалев (РБ). – №4855342/08; заявл. 27.07.90; опубл. 10.11.96, Бюл. № 31. – 4с.; ил.
24. Инструмент для упрочняющей обработки: пат. 2068768 РФ, МКИ В24В39/02 / А.М. Довгалев (РБ). – № 4732048/08; заявл. 22.08.89; опубл. 10.11.96, Бюл. № 31. – 4с.; ил.

Материал поступил в редакцию 05.11.12

### DOVGALEV A.M. Magnetic and Dynamic Strengthening of Inside Surfaces of Long Pneumatic and Hydraulic Cylinders

The article deals with designs of individual magnetic and dynamic tools with magnetic and electromagnetic drives of deforming balls, which are intended for finishing and strengthening treatment of inner surfaces of cylinders.

УДК 621.983.044

Попова Ж.А.

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

При открытой рыночной экономике расширение промышленного производства невозможно без решения проблем повышения качества и конкурентоспособности выпускаемых машин. Одной из важных задач при обеспечении качества машин является повышение эксплуатационных показателей их деталей. Эти показатели определяются параметрами качества поверхностного слоя. Прочностные свойства, обеспечивающие работоспособность материалов в условиях эксплуатации конкретных изделий, составляют конструктивную прочность металлов. Повысить прочность металлов – это значит продлить жизнь машин, оборудования, уменьшить их массу, улучшить надежность, повысить долговечность, экономичность и снизить металлоемкость.

Надежность металлов оценивается рядом критериев. Порог хладноломкости является важнейшей характеристикой склонности металлов к хрупкому разрушению. Необходимо иметь значительный температурный запас вязкости. Долговечность деталей машин во многом лимитируется износом, являющимся результатом трения, возникающего между их контактирующими поверхностями при относительном движении. Износ зависит от многих параметров качества поверхностного слоя, поэтому важно знать возможности управления комплексом этих параметров в процессе обработки, включая геометрические, механические, физические и химические структурные свойства. Известно, что до 70% причин выхода из строя машин и механизмов связано с износом узлов трения. Все современные методы упрочнения металлов направлены на создание условий торможения дислокаций за счет увеличения их плотности, взаимодействия дислокаций с атомами легирующих элементов, измельчения блоков, образования дисперсионных частиц карбидов, нитридов и т.п. К наиболее прогрессивным методам упрочнения металлов и долговечности деталей машин относят ультразвуковую обработку, магнитную обработку, облучение частицами высокой энергии, лазерную обработку, высокие давления и т. д. Следовательно, одним из направлений обеспечения улучшения надежности и долговечности деталей машин является повышение износостойкости этих деталей, которое может быть достигнуто путем применения новых технологий обработки металлов и сплавов [1].

Целью данной работы является исследование влияния электромагнитного поля на изменения структуры и свойств деталей машин из стали марки 35ХГТ, применяемых в машиностроении, и обоснование эффективности применения магнитно-импульсной обработки (МИО) для упрочнения металлических изделий. Основными факто-

рами, определяющими воздействие магнитно-импульсной обработки (МИО) на металлические материалы, являются:

- ✓ непосредственное магнитное воздействие (намагничивание, перемагничивание, магнитострикция);
- ✓ ток проводимости, индуцированный переменной во времени составляющей магнитного поля;
- ✓ силовое воздействие магнитного поля на индуцированный электрический ток;
- ✓ джоулево тепловыделение;
- ✓ электронно-пластический эффект, обусловленный движением электронов и их взаимодействием с дислокациями, вызывающий снижение сопротивления деформированию и повышение пластичности металлов;
- ✓ упругие и пластические деформации [2].

Для общего случая падения плоской волны на плоскую поверхность металла значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно имеют вид:

$$E_x = E_0 \exp \left[ -\frac{2\pi x}{c \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}} \right] \cos \left( 2\pi ft - \frac{2\pi x}{c \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}} \right),$$

$$H_x = H_0 \exp \left[ -\frac{2\pi x}{c \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}} \right] \cos \left( 2\pi ft - \frac{2\pi x}{c \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}} - \frac{\pi}{4} \right),$$

где  $c$  – скорость света;

$\rho$  – удельное электросопротивление;

$\mu$  – магнитная проницаемость;

$f$  – частота колебаний [3].

При проникновении плоской электромагнитной волны в металл (рис. 1) уменьшается амплитуда напряженности электрического и магнитного полей, меняются фазы колебаний, фаза магнитного поля отстает от фазы электрического поля на  $\pi/4$ . С переходом к глубинным слоям металла количество поглощенной энергии убывает:

Попова Ж.А., преподаватель кафедры оборудования и автоматизации производства Барановичского государственного университета. Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская обл-ть, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.