

ным оборудованием, традиционно используемым в рассматриваемой отрасли производства. Например, оптический микроскоп – атомно-силовой микроскоп.

2. Разрешающие возможности метода со значительным запасом перекрывают потребности микро- и нанотехнологий сегодняшнего дня и вполне могут быть ограничены диапазоном до 10 нм. Этот факт позволяет снижать уровень технических характеристик оборудования, что позволяет повышать устойчивость и надежность его использования в рутинных измерениях.

3. Разрабатывается режим «Автооператор», позволяющий оптимизировать настройки прибора. Методология управления измерениями должна быть направлена на минимизацию человеческого фактора. Протокол измерений будет сводиться к визуализации объектов и количественной оценке лишь необходимых параметров для контролируемых изделий. Простота в обращении достижима, возможно, в ущерб многофункциональности прибора.

4. Вопрос нанометрологии является важнейшим при обеспечении измерений. Разрабатываются методики сертификации СЗМ, включая выбор тестовых структур и оптимизацию калибровочных процедур.

Работа по внедрению техники наноконтроля в современное производство выполняется в рамках ря-

да заданий Государственных научно-технических программ Республики Беларусь и может быть более эффективной при подготовке совместных межгосударственных проектов Россия-Беларусь.

### *Литература*

1. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике / Отв. редактор А.Л. Асеев. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. – 368 с.
2. Whitehouse D. J. Handbook of Surface Metrology. IOP Publishing, Bristol and Philadelphia. 1994. 988 p.
3. Третьяков Ю.Д. Проблема развития нанотехнологий в России и за рубежом// Вестник Российской Академии наук, 2007, т. 77, №1. с 3 – 10.
4. Свириденко А.И., Чижик С.А., Петроковец М.И. Механика дискретного фрикционного контакта. - Минск: Навука і тэхніка, 1990.- 272 с.
5. Bhushan B., Fuchs H., Hosaka S. Applied Scanning Probe Methods. Springer. 2002. 475 p.
6. Чижик С.А. Комплексная характеристика материалов методом сканирующей зондовой микроскопии// Тепло- и массообмен-2003. Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2003. С.226-232.
7. www.microtm.com

## **ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДИСКОВ ПЛЮЩИЛОК МАРКИ «КОРМ-10»**

*Ивашко В.В., Везера И.И., Синцов С.И.  
Физико-технический институт НАН Беларуси*

В последние годы в Республике Беларусь, России, Швеции, Англии и Финляндии получила распространение уборка зерновых и зернобобовых культур, а также кукурузы повышенной влажности с целью их переработки методом плющения и дальнейшего хранения с применением консервантов для последующего скармливания в животноводческих комплексах. Применение такой технологии позволяет уменьшить зависимость уборочной страды от погодных условий, исключить операции сушки зерна. Согласно предварительных расчетов экономия средств на одной тонне плющенного консервированного зерна составляет около 10–20 млн. Рублей. Для реализации процесса

плющения зерна в Республике Беларусь разработана установка для плющения зерна «корм-10», в которой необходимо упрочнить рабочие поверхности 21–23 дисков, испытывающих износ и контактные нагрузки в процессе эксплуатации.

В настоящее время для этих целей применяют методы термической, лазерной, плазменной или химико-термической обработки. Каждый из перечисленных методов обладает определенными достоинствами и недостатками.

Наибольшее распространение в промышленности получил метод термического упрочнения с использованием нагрева в камерных, шахтных и др. печах. Этот метод надежен, стабилен, универ-

сален и широко применяется на предприятиях машиностроения. Важнейшим его недостатком является обезуглероживание поверхности, что вызывает необходимость последующего удаления обезуглероженного слоя методами шлифования. С другой стороны этот процесс отличается низким к.п.д и значительными энергозатратами на разогрев печей.

Термическое упрочнение с использованием лазерного нагрева вызывает необходимость использования дорогостоящего оборудования и высококвалифицированных кадров. Применение лазерного нагрева чаще всего используется для поверхностного упрочнения деталей. Вместе с тем этот процесс отличается низкой производительностью и высокой чувствительностью к исходной структуре сталей. Аналогичные недостатки можно отметить у плазменного нагрева.

Весьма перспективным для большинства деталей работающих на износ или контактную усталость следует считать поверхностную термообработку с применением высокочастотного нагрева [1–3]. Такая термическая обработка позволяет получать на недорогих сталях поверхностно-упрочненные слои толщиной 1–10 мм, обладающие высокой твердостью и износостойкостью. Использование индукционного нагрева резко снижает энергозатраты вследствие уникальной возможности локального упрочнения рабочих поверхностей, снижает или полностью исключает обезуглероживание или окисление, обладает достаточно высоким к.п.д, исключает загрязнение окружающей среды. Существенным недостатком данного процесса является проблема, связанная с нагревом деталей сложной геометрической формы. Применение высокочастотной поверхностной обработки требует обдуманного выбора марок стали, режимов нагрева и охлаждения, разработки и испытания нагревательных и охлаждающих устройств, исследования структуры и свойств упрочненных деталей. В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на комплексную разработку процесса поверхностного электротермического упрочнения дисков плющилки для установки «Корм-10», которые работают в условиях износа и контактного нагружения.

Для изготовления дисков, имеющих форму двойного конуса, и работающих при умеренных контактных нагрузках целесообразно применять недорогую термически упрочняемую конструкционную сталь 45, которая эффективно упрочняется закалкой в воде.

Диски для переработки зерна изготавливают из горячекатаного листа толщиной 40 мм. Первоначально методом газовой или плазменной резки вырезают заготовки, а затем подвергают их механической обработке. Внешний вид диска после закалки ТВЧ представлен на рис. 1. Исходя из технических условий, конические поверхности дисков необходимо упрочнять на глубину 2–3 мм, обеспечивая твердость 52–60 HRC.

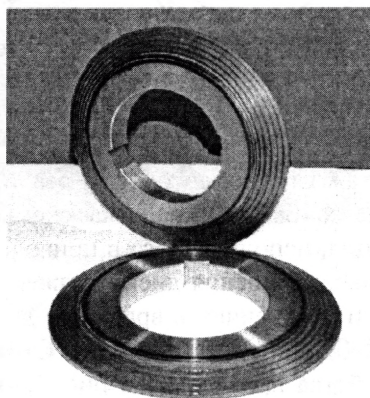


Рис. 1. Внешний вид диска после закалки ТВЧ

Для нагрева использовали установку ВЧГ 60/0,066 мощностью 60 кВт. Предварительный анализ показывает, что для одновременного нагрева конических поверхностей диска диаметром 300 мм мощности установки недостаточно. В этой связи для закалки была использована схема непрерывно-последовательного нагрева. Для реализации данного процесса разработаны опытные образцы индукторов. Опыты, проведенные на образцах, показали, что для данной детали наиболее успешной оказалась конструкция индуктора, приведенная на рис. 2. Индуктор выполнен в виде петлеобразного двухвиткового токопровода, охватывающего с обеих сторон конусную часть дискового изделия. Причем токопровод изогнут так, что нагреваемая поверхность диска проходит под токопроводом дважды, включая предварительный подогрев до температур 700–800°C и окончательный нагрев под закалку до 950–1000°C.

Это позволяет при меньших энергетических затратах непрерывно-последовательно нагревать конические поверхности диска до заданных температур закалки. Непосредственно после индуктора установлен закалочный спрейер, охватывающий коническую поверхность диска по радиусу. Через спрейер подается вода под определенным давлением. Количество подаваемой воды должно обеспечивать непрерывную закалку нагретой поверхности медленно вращающегося

диска. На данное устройство получен патент Республики Беларусь № 2275 [4].

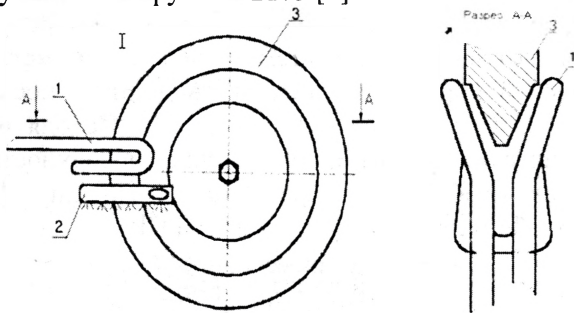


Рис. 2. Индуктор и спрейер для поверхностного упрочнения диска: 1 — индуктор; 2 — спрейер; 3 — диск

Другим важным моментом при реализации данного процесса была разработка схемы и выбор оборудования, используемого в приводе вращения диска. Привод вращения диска должен быть регулируемым и обеспечивать вращение диска со скоростью 0,2–0,5 оборотов в минуту. Схема приводного устройства приведена на рис. 3. В комплект приводного устройства входили стол 1, на котором посредством опор 2 – 5 установлены электродвигатель постоянного тока с регулируемым числом оборотов, запитанный от выпрямителя постоянного тока, редуктор и передающие устройства, обеспечивающие вращение диска со скоростью 0,2–0,5 об/мин. Двигатель постоянного тока установлен на металлические опоры 4, 5, позволяющие с достаточной точностью центрировать ось вращения вала двигателя с осью вращения приводного вала. Выходной вал редуктора центрировали с осью несущего вала, на котором крепили диск. Конструкция несущего вала обеспечивает быструю установку, крепление и съем диска.

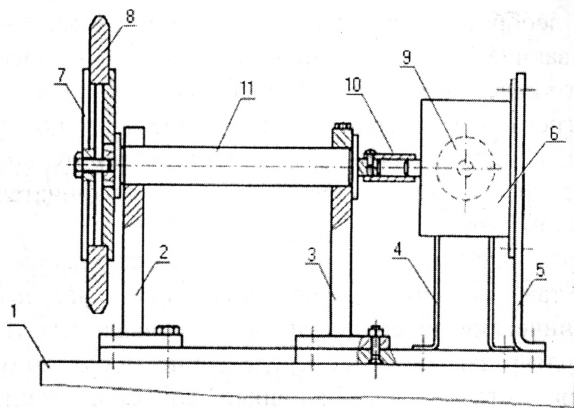


Рис. 3. Привод вращения диска в процессе термической обработки: 1 — стол; 2 – 5 — опоры; 6 — редуктор; 7 — механизм крепления; 8 — диск; 9 — двигатель; 10 — соединительная муфта; 11 — вал

Опыты, проведенные на данной установке, показали, что в зависимости от мощности генератора, подаваемой на индуктор, можно существенно менять толщину упрочняемого слоя. Для обработки оптимального режима нагрева диск нагревали по различным режимам, изменяя подаваемую мощность генератора ТВЧ на индуктор. После высокочастотной заковки диск разрезали, приготавливали макро- и микрошлифы, исследовали структуру и свойства. Из полученных данных было установлено, что в зависимости от подаваемой мощности толщина поверхностного слоя может изменяться от 1,5 до 3 мм (рис. 4).

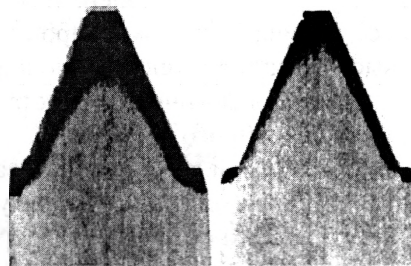


Рис. 4. Макроструктура поверхностно-упрочненного слоя диска

Анализ результатов распределения твердости на боковых конических плоскостях, показал, что при подаваемой мощности 45 кВт толщина поверхностно-упрочненного слоя составляет около 1,5 мм, однако твердость на поверхности диска недостаточна и не превышает значений 45–50 HRC. Увеличение мощности до 50 кВт обеспечивает необходимый уровень твердости, составляющий 52–55 HRC. Дальнейшее повышение мощности до 55 кВт, повышает толщину упрочненного слоя до 3 мм на боковых конических поверхностях и резко увеличивает толщину слоя по наружной поверхности диска. Твердость закаленных поверхностей диска составляет 52–57 HRC, а глубина закаленного слоя составляет 15 мм.

В результате анализа микроструктуры диска, нагретого за счет подаваемой мощности на индуктор 50 кВт, было установлено (рис. 5), что поверхностно-закаленный слой на глубине 1 мм представляет собой однородный по химсоставу мартенсит с мелкодисперсными включениями цементита по границам зерен. На глубине 1–2 мм наряду с мартенситом сохраняются нерастворенные глобулы феррита и мелкодисперсные карбиды цементитного типа  $Fe_3C$ . На глубине 3 мм в бывших колониях перлита регистрируется мартенсит с остаточными карбидами и начало растворения феррита. Центральная область диска представлена феррито-перлитной составляющей.

Многочисленные экспериментальные данные показали, что высокочастотное поверхностное упрочнение дисков позволяет не только повысить твердость и износостойкость поверхностных слоев, но и практически исключить коробление дисков, их окисление и обезуглероживание, сохранить удовлетворительную чистоту поверхности.

Результаты промышленных испытаний показали, что оптимальное максимальное сопротивление при испытании на контактную усталость достигается при твердости стали 52–55 HRC. Большие или меньшие значения твердости, достигаемые в процессе поверхностного упрочнения, приводят к снижению контактной усталости.

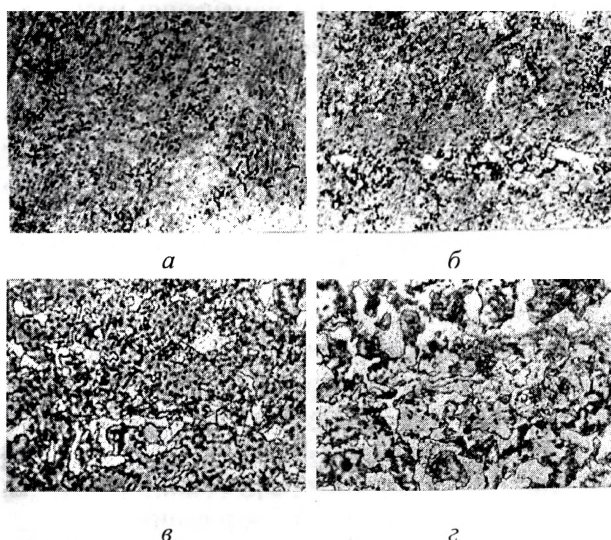


Рис. 5. Микроструктура поверхностно-закаленного диска  $\times 132 \times 4$ : а — поверхность; б — 1 мм от поверхности; в — 2 мм от поверхности; г — 3 мм от поверхности

По оптимальным режимам скоростной термической обработки обработана опытная партия дисков, предназначенных для установок плющения зерна «Корм-10» (рис. 6). В ОАО «Минскоблагороссервис» изготовлено свыше ста установок, которые переданы для работы в Минской и Могилевской областях.

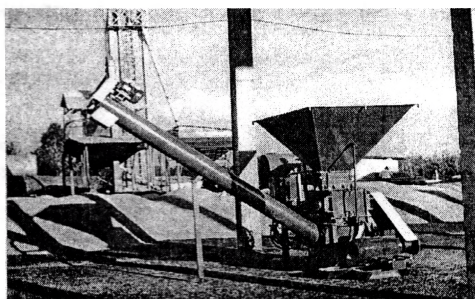


Рис. 6. Установка для плющения зерна «Корм – 10»

#### Литература

1. Г.Ф. Головин, М.М. Замятин. Высокочастотная термическая обработка. М. «Машиностроение», 1995, с. 239.
2. К.З. Шепеляковский. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М. «Машиностроение», 1972, с. 287.
3. Сб. «Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях», под редакцией проф. П.С. Гурченко. Мн., 2005, с. 98.4
4. Патент РБ № 2275. Ивашко В.В., Гордиенко А.И., Вегера И.И. и др. Устройство для поверхностной закалки дисковых изделий с нагревом ТВЧ.

УДК 620.179.14

## ЭФФЕКТ НАРКЕВИЧА-ИОДКО-КИРЛИАН И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

### ЭФФЕКТ НАРКЕВИЧА-ИОДКО-КИРЛИАН И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ И ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ НА РАННЕЙ СТАДИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Довгялло А.Г., Венгринович В.Л., Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Колпацников В.Л., Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

В конце XIX столетия (1892 г.) талантливый белорусский ученый Яков Оттович Наркевич-Иодко (1847–1905 гг.) первым в мире обнаружил свечение рук человека в поле высоковольтного разряда

и научился фиксировать это электроразрядное свечение (ЭРС) на фотопластинке, что позволило ему первому в мире судить по характеру свечения о психологической совместимости людей, их эмо-