

Кондел М. Дж., Стюарт А. Статистические выводы и связи. М. Наука. 1973. – 899с.: ил – Библиогр.: с. 844-877. 4. Методические указания. Методика Выбора и оптимизация контролируемых параметров в технических процессах РДМУ 190-17. М. Издательство стандартов. 1978, с. 5. 5. Меркурьев В.В., Молдавский М.А. Статистические выводы и связи. М. Наука, 1973. – 484 с.; ил. – Библиогр.: с. 48 – 475.

УДК 621.785

Ивашко В.В., Вегера И.И., Синцов С.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДИСКОВ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Введение. Развитие машиностроения связано с разработкой высокоэффективных процессов упрочнения деталей машин, претерпевающих износ, изгиб, удар и высокие контактные нагрузки. В настоящее время для этих целей применяют методы термической, лазерной, плазменной или химико-термической обработки.

Весьма перспективным для большинства деталей работающих на износ или контактную усталость следует считать поверхностную термообработку с применением высокочастотного нагрева [1-3]. Такая обработка позволяет получать на недорогих сталях поверхностно-упрочненные слои толщиной 1-10 мм, обладающие высокой твердостью и износостойкостью. Достоинствами этого метода являются высокая скорость нагрева и возможность локального упрочнения рабочих поверхностей, позволяющие резко сократить длительность цикла термообработки и снизить энергозатраты. Индукционный нагрев снижает или полностью исключает обезуглероживание и окисление, обладает достаточно высоким к.п.д, исключает загрязнение окружающей среды.

Существенным недостатком данного процесса является проблема, связанная с нагревом деталей сложной геометрической формы, так как поверхностная закалка на высокую твердость таких деталей приводит к возникновению закалочных трещин, поводок, что снижает эксплуатационные характеристики и долговечность. Непосредственной причиной образования трещин при закалке деталей из среднеуглеродистых сталей при охлаждении водой является неравномерность нагрева и охлаждения отдельных зон обрабатываемой детали. Чтобы получить равномерный закаленный слой и исключить образование трещин, необходимо разработать специальные нагревательные и спрейерные устройства оптимизировать режимы нагрева и охлаждения, обеспечивающие получение оптимальной структуры и свойств на рабочих поверхностях дисков.

Цель работы заключалась в изучении влияния режимов скоростного нагрева и охлаждения на структуру и свойства стали 45, в разработке технологических устройств для непрерывно-последовательного нагрева токами высокой частоты и спрейерного охлаждения конических рабочих поверхностей дисков (рис. 1), предназначенных для комплектования машин по переработке зерна.

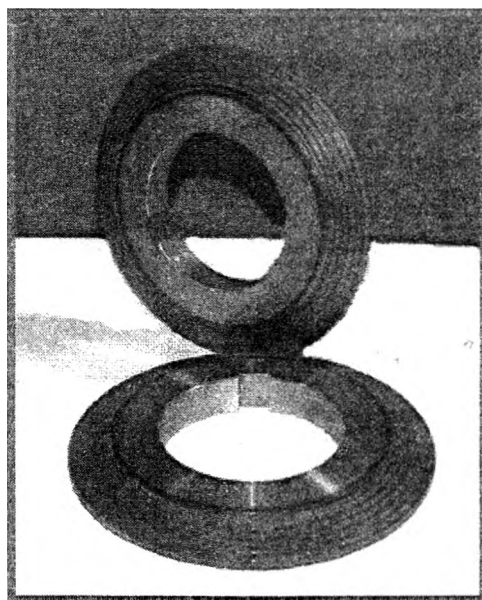


Рисунок 1 – Внешний вид диска после закалки ТВЧ.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для изготовления сложнопрофильных деталей, имеющих форму двойного конуса, и работающих при умеренных контактных нагрузках целесообразно применять недорогие термически упрочняемые конструкционные стали. Диски для переработки зерна изготавливают из горячекатаного листа стали 45 толщиной 40 мм. Первоначально методом газовой или плазменной резки вырезают заготовки, а затем подвергают их механической обработке. Исходя из технических условий, конические поверхности дисков необходимо упрочнить на глубину 2-3 мм, обеспечивая твердость 52-60 HRC.

Моделирование процессов скоростной термообработки проводили на установке УКН-3. Образцы стали 45 диаметром 10 мм и длиной 120 мм нагревали до температур 750-1150°C со скоростью 50°C/с. При достижении заданной температуры образцы автоматически погружались в воду. Для сравнения часть образцов нагревали в печи в течение 25 мин до температур 750-950°C, а затем закаливали в воде. Закаленные образцы подвергали отпуску при температуре 200°C, 2 часа. Результаты механических испытаний приведены на рисунке 2. Из приведенных данных видно, что при нагреве в печи максимальный уровень прочности и пластичности достигается после закалки с температуры 900°C ($\sigma_b=1750-1800$ МПа, $\delta=8\%$, $\psi=29\%$). Повышение температуры нагрева под закалку до 950°C сопровождается снижением прочности и пластичности ($\sigma_b=1500$ МПа, $\delta=2,5\%$, $\psi=12\%$).

Оптимальные свойства при скоростном нагреве ($V_n=50^\circ\text{C}/\text{с}$) были получены после закалки с температур 950-1050°C ($\sigma_b=1848-1947$ МПа, $\delta=11,6-12,6\%$, $\psi=40-50\%$). Предел текучести термоупрочненных образцов составил 1520-1685 МПа. Снижение прочности и особенно пластичности происходит после закалки с температуры 1100°C. Таким образом, оптимальной температурой скоростного нагрева дисков под закалку следует считать температуру 950-1000°C.

Для оценки влияния режимов отпуска на механические свойства стали 45 предварительно закаленные образцы ($V_n=50^\circ\text{C}/\text{с}$, $T=1050^\circ\text{C}$) подвергали отпуску при температурах 200-700°C в печи в течение 2 часов и со скоростью 50°C/с. После скоростного нагрева при отпуске образцы охлаждали в воде. Сталь 45 после скоростного нагрева до 1050°C и закалки в воде имела твердость 58 HRC. После нагрева в печи до 200 и 300°C твердость понижалась до 54 и 48 HRC соответственно.

Дальнейшее повышение температуры отпуска до 600°C сопровождается линейным снижением твердости до 26 HRC. Применение скоростного нагрева для отпуска показало, что для достижения твердости соответствующей печному нагреву образцы необходимо нагревать на 75-100°C выше.

В исходном состоянии структура стали 45 представляет собой феррито-перлитную смесь. После скоростного нагрева и закалки с температуры 750°C происходит растворение тонкопластинчатых частиц перлита. Повышение температуры нагрева до 860°C приводит к частичному растворению феррита и цементита. Полное растворение феррита происходит при нагреве до температуры 900°C. Частицы цементита сохраняются при нагреве до 1050°C, однако при этом происходит рост аустенитных зерен до 20-30 мкм. Фиксирование при закалке

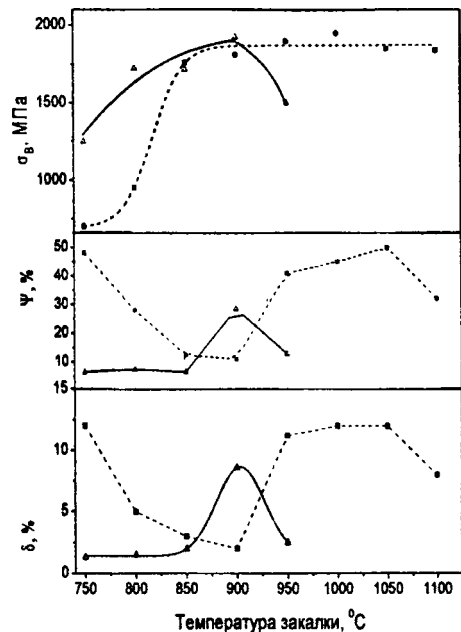


Рисунок 2-
— печной нагрев, 30 мин, вода, отпуск 200°C, 2 ч.;
----- скоростной нагрев ($V_n=50^\circ\text{C}/\text{с}$), вода, отпуск 200°C, 2 ч.

в воде практически однородного мелкозернистого мартенсита позволяет получать высокий уровень механических свойств.

Для реализации разработанных оптимальных режимов при обработке дисков, необходимо было выбрать схему нагрева под закалку и разработать специальное оборудование для ее реализации. Для нагрева использовали установку ВЧГ60/0,066 мощностью 60 кВт. Предварительный анализ показывает, что для одновременного нагрева конических поверхностей диска диаметром 300 мм мощности установки недостаточно. В этой связи для закалки целесообразно было использовать схему непрерывно-последовательного нагрева. Для реализации данного метода была разработана экспериментальная установка для поверхностного упрочнения конусных поверхностей дисков с использованием непрерывно-последовательного нагрева и охлаждения [4].

Опыты, проведенные на данной установке, показали, что в зависимости от мощности генератора, подаваемой на индуктор, можно существенно менять режимы нагрева и толщину упрочняемого слоя. Для отработки оптимального режима нагрева диски нагревали по различным режимам, изменяя подаваемую мощность генератора ТВЧ на индуктор при постоянной линейной скорости вращения диска. После высокочастотной закалки диски разрезали, приготавливали макро- и микрошлифы, исследовали структуру и свойства. Результаты макроанализа, полученные после различных вариантов нагрева (рис. 3) показали, что в зависимости от подаваемой мощности толщина поверхностного слоя может изменяться от 1,5 до 3 мм. 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.

Микроструктура в поверхностно-закаленном слое 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. 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.

Выводы:

Изучено влияние скорости нагрева на механические свойства стали 45 в закаленном состоянии. Определены режимы скоростной термической обработки стали 45, обеспечивающие получение после закалки и отпуска временное сопротивление на разрыв 1600-1800 МПа, относительное удлинение 11-13% и относительное сужение 40-50%.

Изучено влияние режимов индукционного нагрева на структуру и свойства поверхностно-упрочненных слоев дисков. В результате поверхностного упрочнения дисков токами высокой частоты, получили слои с твердостью на поверхности 54-58 HRC и глубиной 2-3 мм.

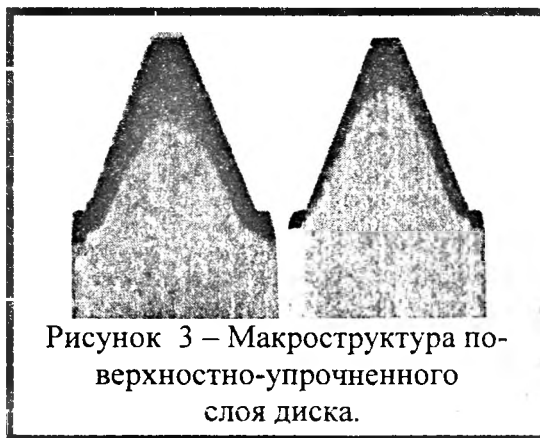


Рисунок 3 – Макроструктура поверхностно-упрочненного слоя диска.

С использованием высокочастотного нагрева разработана технология и опытно-экспериментальное оборудование для поверхностного упрочнения конусных поверхностей дисков, работающих на износ и контактную усталость.

Это позволило повысить износостойкость рабочей поверхности дисков, исключить или уменьшить вероятность образования вмятин и сколов при попадании камней и металлических предметов в зону измельчения зерна, исключить образование трещин, обезуглероженого слоя, окалины и других дефектов поверхности, появляющихся в процессе термической обработки, увеличить долговечность и ресурс работы деталей.

По разработанным режимам с применением опытно-технологических устройств обработана опытная партия дисков в количестве 1500 штук и поставлена заказчику для комплектования разработанных в Беларуси установок “Корм-10”, внедрение данных установок в агропромышленном комплексе Беларуси позволило сократить в 2 раза импорт такого типа оборудования из-за рубежа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Ф. Головин, М.М. Замятнин. Высокочастотная термическая обработка. М. “Машиностроение”, 1995, с. 239. 2. Сб. “Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях”, под редакцией проф. П.С. Гурченко. Мн., 2005, с.98. 3. Индукционная закалка и ее применение в автомобильной промышленности. Altena H., Schrank F., Oberweger G., Krauss D. // HTM: Harter.-techn. Mitt.– 1999.– 54, №4.– P. 216–221. 4. Пат. 2275 ВУ, МПК C21D 1/06. Устройство для поверхностной закалки дисковых изделий с нагревом токами высокой частоты / Ивашко В.В., Гордиенко А.И. Тарарук А.И., Вегера И.И., Синцов С.И. – № U 20050315; Заявл. 04.04.2005; Опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.– 2005.– № 4(47).– С. 46.

УДК 621. 923.

Хейфец М.Л., Чемисов Б.П., Грецкий Н.Л., Толстиков, С.К.

ФОРМИРОВАНИЕ ФЕРРОПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Повышение надежности и долговечности деталей машин, во многом определяется состоянием их поверхностного слоя [1]. Основными причинами потери работоспособности узлов и механизмов являются изнашивание и усталостные поломки деталей, их разрушение вследствие ползучести, коррозия, эрозия в различных средах, кавитационное разрушение и всевозможные сочетания этих причин. Свыше 80% отказов обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, в которых изнашивание играет доминирующую роль. Износ деталей различных групп по элементам составляет: 52% - цилиндрические поверхности; 3% - конические и сферические; 1% - плоские; 1% - профильные и фасонные; 2% - зубья и шестерни; 3% - шлицы; 5% - пазы; 10% - резьбы. Причем 13% поверхностей имеют нарушение макрогеометрии и формы; трещины и изломы обнаружены у 9% деталей [2]. Поэтому актуальными являются как разработка новых, так и совершенствование известных методов восстановления.

При восстановлении поверхностей деталей машин используют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать поверхность с требуемым химическим составом, высокой твердостью и износостойкостью. Наиболее перспективными являются элек-