Полученные данные показывают, что результаты расчета далеки от фактических показателей износа. Основной причиной, которая влияет на точность расчета, является отсутствие учета в формуле прогнозирования износа покрытия фактических данных по распределению транспортных потоков по полосам движения. Необходимо произвести корректировку данного расчета с учетом фактической интенсивности дорожного движения по каждой полосе.

1. ГОСТ 32825-2014 «Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений;
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменениями № 1, 2);
3. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля;
4. ОДМ Рекомендации по выявлению и устранению колеи на жестких дорожных одеждах.

Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В., Сахно Д.А.

**Практика омагничивания в постоянном магнитном поле термически
обработанных быстрорежущих сталей**

*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на Дону)*

doi: 10.18411/lj-02-2021-56

idsp: ljjournal-02-2021-56

Аннотация

Статья посвящена обработке быстрорежущей стали Р6М5 в магнитном поле. Проведены измерения микротвердости и проанализированы изменения в доменной структуре после омагничивания. Выявлена обратимость эффекта упрочнения после снятия магнитного поля. Показано влияние финишных операций обработки поверхностного слоя.

Ключевые слова: закалка, магнитное поле, быстрорежущая сталь, ферромагнитное состояние, доменная структура.

Abstract

The article is devoted to the processing of high-speed steel R6M5 in a magnetic field. Attention is paid to the presence of a domain structure after magnetization. Studies of microhardness after magnetization are carried out. The reversibility of the hardening effect after removal of the magnetic field is determined. The influence of finishing operations of surface layer processing is established.

Keywords: quenching, magnetic field, high-speed steel, ferromagnetic state, domain structure.

Опыты, положившие начало исследованиям в области термической обработки в магнитном поле, впервые провел в 20-х годах американский физик Е. Герберт [1]. Он открыл необычный эффект повышения твердости в результате продолжительного старения при 100°C в магнитном поле наклепанных или закаленных образцов из быстрорежущей, углеродистой и низколегированной стали с 0,7-0,8 %С. Герберт отмечал также ускорение процессов естественного старения дуралюмина и отжига на ковкий чугун при наложении внешнего сильного магнитного поля.

Г.М. Гаврилов [2] осуществил экспериментальную проверку эффекта Герберта в поле постоянного магнита напряженностью 6 кА/м на быстрорежущих сталях. Приведенные в работе [2] сведения подтверждают существование эффекта повышения

твердости при намагничивании закаленной стали. По мнению Г.М. Гаврилова, упрочнение при намагничивании происходит из-за наклепа аустенита в результате анизотропного магнитострикционного деформирования мартенситного монокристалла и является, как правило, обратимым в связи с протеканием релаксационных процессов.

Также известен ряд работ, показывающих влияние магнитных полей на протекание фазовых превращений в сталях и сплавах [3-10].

Основная характеристика ферромагнитного состояния [3] - наличие доменной структуры. При прочих равных условиях стабильность доменной структуры определяется взаимодействием междоменных границ с дислокациями, которое обусловлено интерференцией упругих полей дислокаций и магнитострикционных деформаций. Размер и количество доменов зависит от плотности дислокаций. При высокой концентрации доменов малых размеров образуется развитая сетка междоменных границ, где сосредоточивается упругая энергия магнитострикции. Такое сочетание повышенного количества дефектов структуры и доменов малых размеров характерно для быстрорежущих сталей после обычной термической обработки.

Рисунок 1 - Изменение твердости стали Р6М5 с течением времени после омагничивания

В процессе намагничивания границы перемещаются между доменами и в полях насыщения полностью аннигилируют. В этих условиях меняются магнито-стрикционные напряжения, которые, в свою очередь, могут изменять некоторые свойства намагниченных ферромагнитных сплавов.

Проверка наличия эффекта Герберта на стали Р6М5 после статистической обработки, показанной на рисунке 1, где кривая 1 иллюстрирует изменение твердости закаленной стали, а кривая 2 — изменение твердости закаленной и трехкратно отпущенной стали. Прямые AA и BB показывают соответствующие значения твердостей до омагничивания.

Экспериментальные данные показывают, что после магнитной обработки в обоих образцах твердость HRC возрастает очень незначительно, примерно на 1 единицу, затем несколько снижается в течение 10 часов и стабилизируется через сутки. В случае закаленного образца твердость остается немного выше исходной твердости в немагниченном состоянии, а в закаленном образце она снижается почти до исходного уровня. Как видно на рисунке 1, в закаленной стали Р6М5 начальное увеличение твердости после намагничивания такое же, как в случае трехкратного отпуска и через сутки после намагничивания в закаленной стали оно составляет 0,5 HRC, тогда как при трехкратном отпуске происходит практически полная релаксация. Таким образом, коэрцитивная сила может характеризовать только степень релаксации эффекта намагничивания.

Рисунок 2 - Доменная структура до омагничивания и после выключения магнитного поля

По химическому составу быстрорежущие стали приближаются к магнитотвердым материалам с умеренным значением коэрцитивной силы [7]. Высококоэрцитивное состояние термически обработанных быстрорежущих сталей определяется особенностями их строения - наличием большого количества мелких карбидных включений, высокой объемной плотностью точек взаимодействия доменных границ с дефектами структуры, что связано с дисперсностью кристаллов мартенсита, развитой субструктурой, то есть высокой плотностью дислокаций. Из-за значительной коэрцитивной силы в быстрорежущих сталях после магнетизма доменная структура не возвращается в исходное состояние. Размеры таких доменов тем больше, чем больше направление вектора совпадает с направлением вектора напряженности внешнего поля при намагничивании. В связи с образованием доменов большего размера количество актов взаимодействия между доменными стенками и дислокационными петлями после выключения внешнего поля значительно меньше, чем при его включении. Со временем доменная структура стремится восстановить исходную конфигурацию благодаря своей энергетической стабильности, что соответствует минимуму магнитной энергии. Размеры доменов постепенно уменьшаются, а их количество увеличивается. В этом случае междоменные границы стремятся занять старые позиции из-за пространственной кристаллографической ориентации ферромагнитных фаз, которая не изменяется при намагничивании [5].

Таким образом, полученные результаты показывают, что омагничивание инструмента нельзя рассматривать как практически применимый метод упрочнения, так как рассматриваемые эффекты очень малы и полностью обратимы, что является экономически нецелесообразным.

1. Herbert E. G. The hardening of metals by rotating magnetic fields // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. – 1931. – Т. 130. – №. 814. – С. 514-523.
2. Гаврилов Г.М. Изменение свойств закаленной стали в магнитном поле // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1977. - № 6. - С. 18.
3. Бернштейн М.Л. Терромагнитная обработка стали. – М.: Металлургия, 1968. – 95 с.
4. Pustovoi V.N., Dolgachev Y.V. Special features of the structure of martensite formed by hardening of steel in magnetic field in the temperature range of superplasticity of austenite // Metal Science and Heat Treatment. - 2012. - Т. 53. - № 11-12. - С. 515-519.
5. Фокина Е.А., Завадский Э.А. Влияние магнитного поля на мартенситное превращение в стали // Физика металлов и металловедение. - 1963. - Т.16. - №2. - С. 311-313.
6. Pustovoi V.N., Dolgachev Y.V. Ferromagnetically ordered clusters in austenite as the areas of martensite formation // Emerging Materials Research. - 2017. - Т. 6. - № 2. - С. 249-253.
7. Кривоглаз В.А., Садовский В.Д. Закалка стали в магнитном поле. – М.: Наука, 1977. – 119 с.
8. Pustovoi V.N., Dolgachev Yu., Dombrovskii Yu.M. Use of the superplasticity phenomenon of steel for "internal" magnetic correcting a product // Solid State Phenomena. - 2017. - Т. 265. - С. 745-749.
9. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В., Рожкова В.М. Энергетические особенности образования зародышей мартенсита и кинетика гамма-альфа перехода при действии внешнего магнитного поля // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2015. - № 5 (160). - С. 131-135.
10. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Зарождение мартенсита в условиях сверхпластичности аустенита и воздействия внешнего магнитного поля // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2016. - № 2 (181). - С. 114-120.