



НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Л. И. ЛУМИРОВСКАЯ, И. Г. СОКОЛИНСКАЯ, А. С. МЯСИЦЕВА, О. Т. СИМОЧКИНА

Показана эффективность применения метода магнитной структуроскопии для массового неразрушающего контроля качества термообработки звеньев высокопрочных цепей и качества прутка, применяемого для их изготовления.

The paper shows the efficiency of application of magnetic structuroscopy method for massive non-destructive quality testing of heat treatment of high-tensile chains sections and quality of the rod used for their production.

Статистика аварий шахтных скребковых конвейеров показывает, что около 60 % их простоев происходит из-за разрушения круглых и соединительных звеньев тяговых цепей.

Цель настоящей работы — исследование возможности применения неразрушающего метода магнитной структуроскопии для априорной оценки надежности круглозвенных цепей, работающих на скребковых конвейерах в угольных шахтах, а также качества прутков, из которых изготавливаются цепи. Необходимость этой работы обусловлена следующими факторами.

Цепи работают в условиях динамических растягивающих, изгибных и ударных нагрузок, величина и скорость приложения которых колеблются в широких пределах. В то же время Межгосударственный стандарт 25996–97 «Цепи круглозвенные высокопрочные для горного оборудования» [1] в качестве основных механических свойств устанавливает результаты испытаний статическим растяжением — два образца из партии цепей длиной 200 м.

Испытания на усталость, статический и ударный изгиб рекомендуются как факультативные. Они проводятся на трех образцах из пяти партий цепей и их результаты не являются критерием приемки и не могут обеспечить необходимую надежность цепей. Это приводит к частым разрушениям цепей из-за образования в звеньях усталостных трещин и значительно реже — к пластическим деформациям и вязким разрывам.

Не менее важным условием достижения высокой надежности цепей является качество исходного прутка. Исследования разрушенных в эксплуатации звеньев показали, что в ряде случаев причиной этого являются дефекты металлургического происхождения.

Если холоднотянутый прутки не отожжен и обладает пониженной пластичностью, то это приводит к образованию трещин при изготовлении звеньев цепи и ухудшает механические свойства звеньев. В некоторых разрушенных звеньях обнаруживается исходная структура перегрева, которая не исправляется последующей термообра-

боткой при изготовлении цепей, а иногда — большое количество неметаллических включений в исходном металле.

Работу проводили в лаборатории неразрушающего контроля Спеццентра «Углеизотоп» и центральной заводской лаборатории ЗАО «Артемовский машиностроительный завод ВИСТЕК» — изготовителе цепей.

Использовали магнитный структуроскоп СИЛА, разработанный и изготавливаемый СЦ «Углеизотоп» [2]. Исследования проводили на образцах, круглых звеньях и прутках калибра 18 мм из сталей 23Г2А и 25Г2А и калибров 24 и 26 мм из стали 25ХГНМА.

Из четырех партий прутков стали 23Г2А, поставленных Криворожским металлургическим комбинатом, были изготовлены образцы для испытаний на ударный изгиб. Их подвергли закалке с 880 °С и отпуску при температурах 350, 380 и 430 °С. На рис. 1 показаны результаты измерений твердости, сопротивления удару и показаний магнитного структуроскопа СИЛА.

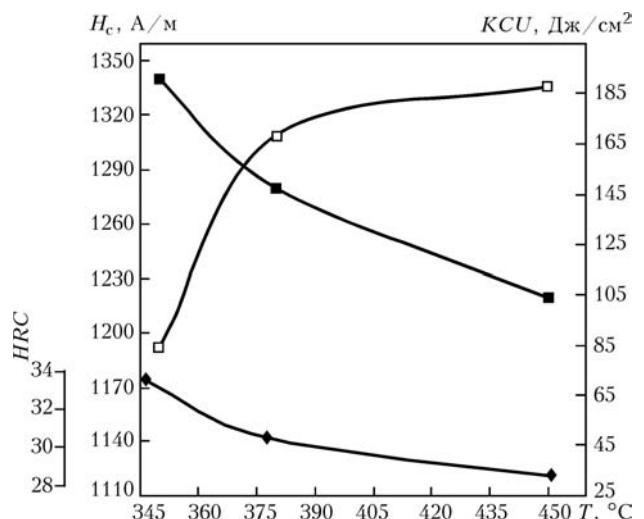


Рис. 1. Зависимость механических свойств HRC и KCU и показаний магнитного структуроскопа Hc от температуры отпуска T образцов из стали 23Г2А

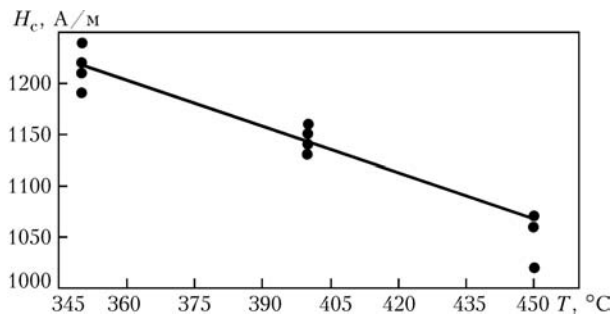


Рис. 2. Зависимость показаний структуроскопа от температуры отпуска T для звеньев из стали 25XГНМА

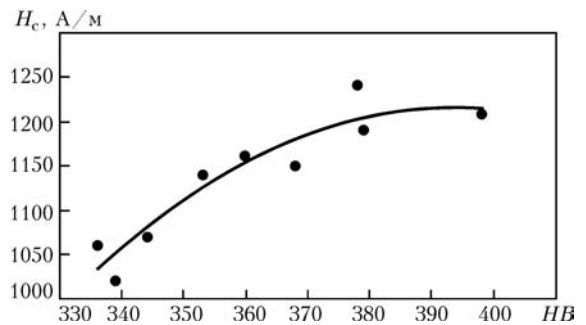


Рис. 3. Зависимость показаний структуроскопа H_c от твердости HB звеньев из стали 25XГНМА

Образцы, отпущенные при 350 °С, имеют ударную вязкость, близкую к нижнему пределу (78 Дж/см²), т. е. попадают в зону риска. По показаниям прибора СИЛА они надежно отделяются от отпущенных при 380 °С, тогда как по твердости разница составляет 2-3 ед. *HRC*, что близко к погрешности метода измерения твердости.

Еще более убедительными получились результаты на другой партии образцов, термообработанных по заводскому режиму: все образцы, имеющие ударную вязкость ниже нормы, были выделены по показаниям прибора СИЛА.

Термическую обработку звеньев из стали 25XГНМА проводили по заводской технологии: закалка от температуры 880 °С на воду и отпуск при 400 °С 2 ч с замачиванием в воде; часть звеньев после закалки подвергали отпуску при 350 и 450 °С.

Измерения проведены на 105 звеньях, изготовленных из проката разных плавок, поставленного металлургическими заводами «Днепропетцсталь» и «Криворожсталь». Получены показания структуроскопа СИЛА с разбросом ±200 А/м в одном отрезке цепи, что, в общем, естественно, так как измерения проводили на цилиндрической поверхности без ее зачистки. На показания, безусловно, влияет окалина, повышая их примерно на 200 А/м. Кроме того, как показали металлографические исследования, у звеньев из разных прутков разная также и глубина обедненного углеродом поверхностного слоя.

Для звеньев из стали 25XГНМА получена хорошая зависимость показаний прибора СИЛА от температуры отпуска звеньев (рис. 2). Уменьшение показаний прибора при повышении температуры отпуска, как известно, связано со снижением структурных напряжений и карбидным превращением в стали, а при увеличении температуры отпуска выше 400 °С — с коагуляцией карбидов.

Проведенные измерения выявили также хорошую связь показаний прибора СИЛА с твердостью, измеренной на зачищенной на глубину до 1 мм цилиндрической поверхности образцов. Коэффициент корреляции — 0,68 (рис. 3). Это вполне приемлемо, если учесть, что звенья изготовлены из проката пяти разных плавок, поставленного разными заводами, проходили термообработку в разные смены и т. д.

Поскольку измерение твердости является косвенным методом оценки прочностных характеристик, это подтверждает возможность применения

магнитной структуроскопии для оценки качества звеньев цепей, что позволит выявить грубые отклонения от нормы.

Из нескольких звеньев, на которых получены показания структуроскопа 810, 830, 1220, 1410, 1440 и 2000 А/м, изготовлены образцы и проведены испытания на ударный изгиб. Результаты: 74, 93, 89, 79, 76 и 64 Дж/см², т. е. для всех испытуемых образцов, кроме одного (810 А/м — 74 Дж/см²), получена четкая связь показаний структуроскопа с ударной вязкостью. Что касается упомянутого образца, то металлографическое исследование показало наличие в его структуре большого количества неметаллических включений, что привело к снижению его разрушения.

Следует отметить, что в этом эксперименте имеется некоторая погрешность, связанная с различием магнитных свойств ударного образца, изготовленного из средней части сечения, и поверхностного слоя звена, из которого он был вырезан. Тем не менее исследования показывают возможность применения неразрушающей магнитной структуроскопии для выделения звеньев, не удовлетворяющих требованиям по ударной вязкости ≥ 78 Дж/см².

Пять звеньев № 1–5 с показаниями прибора СИЛА, А/см: 780, 860, 1000, 1250, 1480 соответственно) были испытаны на статический изгиб. Результаты испытаний в общем согласуются с показаниями прибора: звенья № 2–4 выдержали прогиб 23, 26 и 27 мм соответственно, т. е. удовлетворяют норме, рекомендуемой нормативными документами (20 мм); звено № 1 разрушилось при прогибе 21 мм, т. е. попало в зону риска, но благодаря более высокой пластичности все же выдержало испытание, а звено № 5, оцененное по показаниям прибора как хрупкое, разрушилось при прогибе 17 мм. Хотя нельзя делать выводы по результатам испытаний столь малой выборки, но это дает основания предполагать, что и эту характеристику механических свойств прибором СИЛА можно измерять.

Следует отметить, что всемирно известные фирмы «И. Д. Тайле», «Бекерпрюнте» и др., изготавливающие высокопрочные цепи для тяговых органов скребковых конвейеров, устанавливают температуру отпуска не ниже 400 °С как обеспечивающую ударную вязкость, большую 100 Дж/см², и достаточно высокую деформацию статического изгиба до разрушения. Именно эти характеристики авторы ра-

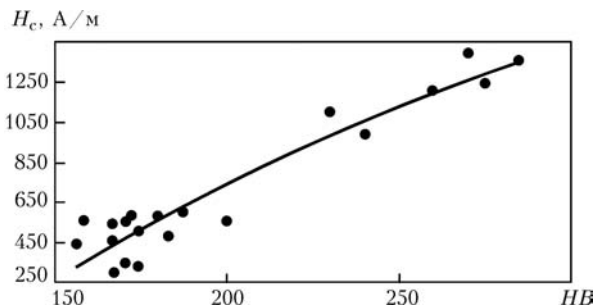


Рис. 4. Зависимость показаний структуроскопа H_c от твердости HB прутков из стали 25XГНМА

бот [3, 4] выделяют как основные, обеспечивающие высокую надежность цепей.

Это хорошо согласуется с нашим опытом. Если при статическом растяжении чаще всего разрушаются звенья, на которых показания структуроскопа ниже, чем у других в испытуемом отрезке, то на звеньях цепей, которые преждевременно разрушились при эксплуатации шахтных конвейеров, показания структуроскопа были выше, чем у остальных. Их разрушения носили характер усталостных с образованием сетки трещин и последующим хрупким изломом.

Таким образом, проведенная работа показала, что неразрушающий контроль качества термообработки звеньев с помощью магнитной структуроскопии является информативным методом, позволяющим оценивать как статические, так и динамические механические характеристики звеньев, что особенно важно.

На основании обработки результатов проведенных исследований были установлены границы удовлетворительного качества по показаниям структуроскопа СИЛА для звеньев цепей из сталей 23Г2А, 25Г2А и 25XГНМА. Внедрение НК на заводе-изготовителе цепей безусловно будет способствовать повышению их качества и снижению аварийности в шахтах.

Следующим этапом работы было исследование возможности отбраковки негодных прутков в состоянии поставки методом неразрушающей магнитной структуроскопии. Это важно, поскольку их структура и механические свойства оказывают существенное влияние на качество звеньев цепей.

Технические условия комбината «Криворожсталь» [5] предписывают изготовление горячекатаного проката из стали 23Г2А, 23ХГА с твердостью не более 217НВ, 25XГНМА — не более 255НВ; холоднотянутого — в отожженном состоянии из стали 23Г2А, 23ХГА — не более 179 НВ, а из стали 25XГНМА — не более 207 НВ.

Технические условия на прутки завода «Днепропеталь» [6] предписывают изготовление проката из стали 25XГНМА в отожженном состоянии с твердостью не более 179 НВ.

В работе проведены измерения магнитной характеристики и твердости 42 образцов, отрезанных

от прутков в состоянии поставки. Результаты показаны на рис. 4.

Металлографическое исследование показало хорошую чувствительность метода магнитной структуроскопии к структуре и твердости образцов. Образцы, на которых получены показания в интервале 300...700 А/м, имеют в структуре зерна феррита и перлита, твердость не выше 187 НВ, что соответствует свойствам отожженных прутков. Образцы, на которых получены показания выше 1400 А/м, имеют структуру неотожженного металла — сорбит и твердость выше 255 НВ.

В процессе исследования удалось также неразрушающим методом обнаружить партию прутков из углеродистой стали. Показания структуроскопа были в пределах 220...350 А/м, тогда как для стали 25XГНМА характерны показания 350...650 А/м. Этот факт также можно отнести к положительным сторонам метода.

Следует указать, что в процессе работы проведено сравнение возможностей осуществления контроля двумя структуроскопами: коэрцитиметром ИКАР с П-образным датчиком и прибором СИЛА, по сути — тоже коэрцитиметром, но с локальным датчиком. У каждого из них есть свои преимущества. При П-образном датчике происходит глубокое промагничивание и устраняется влияние поверхностного слоя, но в тоже время значительно возрастает влияние зазора между полюсами датчика и криволинейной поверхностью звена или прутка. В результате разброс показаний на одном звене: на приборе ИКАР 9...11 %, на приборе СИЛА 2...4 %. Поэтому для решения поставленной задачи был выбран локальный структуроскоп СИЛА.

Вывод

Показана возможность применения метода магнитной структуроскопии для массового НК качества звеньев цепей, отработана методика контроля, выбраны границы удовлетворительного качества звеньев круглозвенных высокопрочных цепей и внедрен на заводе контроль с помощью магнитного структуроскопа СИЛА звеньев цепей и входной контроль проката.

1. ГОСТ 25996-97. Цепи круглозвенные высокопрочные для горного оборудования (п. 7.3, 7.7).
2. Соколинская И. Г. О возможности прогнозирования и повышения надежности машин и механизмов по результатам магнитной структуроскопии // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — № 2. — 2002. — С. 17-21.
3. Бетхер Ф. Круглозвенные цепи фирмы «И.Д. Тайле» — международный эталон качества. — Ж-л «Глюкауф». — Май 1(2). — 2000.
4. Hochfeste Rundstahlketten für Bergbau. Фирма Becker-Prunte, нормативные материалы.
5. ТУ У 27.1.-4-531-2002. Прокат горячекатаный и холоднотянутый из конструкционной легированной высококачественной стали для высокопрочных сварных цепей.
6. ТУ У 14-2-1249-2000. Прокат для сварных цепей и соединительных звеньев.