

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТИЗОВ С ПОМОЩЬЮ КОЭРЦИТИМЕТРА «СИЛА»

А. Б. МАКСИМОВ

Гос. морской технологический ун-т. г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82. E-mail: kmte@aironet.com.ua

Исследована возможность поштучного контроля метизов неразрушающим методом в производственных условиях. Применен магнитный феррозондовый метод с измерением величины коэрцитивной силы стали с помощью структурного импульсного локального анализатора (СИЛА). Исследуемые объекты – болты М20х1,5 из стали 35 и 40Х, шайбы пружинные из стали 65Г. Изделия подвергались закалке в масле с последующим отпуском. Предложены уравнения регрессии, связывающие твердость изделий (HRCэ) со значением коэрцитивной силы. Коэффициент корреляции составил не менее 0,8. Определены интервалы значений коэрцитивной силы, в которых твердость стали удовлетворяет требованиям стандарта. Показано, что для уменьшения отбраковки изделий по твердости необходимо учитывать значения углеродного эквивалента. Установлена взаимосвязь между углеродным эквивалентом и твердостью. Предложено дифференцировать температуру отпуска в зависимости от углеродного эквивалента стали. Разработана принципиальная схема управления качеством при производстве метизов, включающая НК изделий до термической обработки, учет уровня углеродного эквивалента стали и выходной НК. Библиогр. 3, табл. 2, рис. 3.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, феррозондовый датчик, метизы, твердость стали, уравнение корреляции, термическая обработка, сдаточный контроль

Определение механических свойств стальных деталей с достаточно высоким уровнем надежности осуществляется феррозондовым неразрушающим методом [1, 2].

Крепежные детали являются важными элементами конструкций и в значительной мере определяют их жесткость и прочность. Вследствие этого в особо важных конструкциях и механизмах, например, для стальных металлических болшепролетных ферм, башмаков гусеничной транспортной техники и др. для снижения уровня возможности разрушения необходимо контролировать каждую крепежную деталь.

В настоящее время на метизных заводах контроль крепежных изделий проводится выборочно. Сдаточной характеристикой метизов является уровень твердости. Применение методов определения твердости по Бринеллю или Роквеллу принципиально невозможно для каждой детали, так как ввиду сложной формы изделия (болт, гайка, шайба) вначале необходимо изготовить из него шлиф, а затем измерить твердость.

Для осуществления 100%-го контроля качества метизов необходимо применять неразрушающие методы. Учитывая, что метизы имеют сравнительно небольшие размеры, а производство их массовое и поточное, из неразрушающих методов контроля наиболее приемлемыми являются токовихревой и магнитный.

Цель настоящей работы — определение возможности разбраковки метизов по группам твердости в зависимости от уровня коэрцитивной силы.

В качестве материала исследования использовали метизы производства ОАО «Дружковский метизный завод». При исследовании применили феррозондовый метод, реализуемый структурным импульсным локальным анализатором (СИЛА). Накладной феррозондовый датчик имеет рабочую поверхность размером 10×10 мм, информационный параметр – коэрцитивная сила.

Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Excel на ПК.

**Исследование болтов (М20х1,5) и гаек (М20х1,5) по ГОСТ 15526–70 из стали 35.** Болты из стали 35 термически обрабатываются на твердость: НВ 241...354 – первая группа и НВ 225...300 – вторая группа. На «сырых» (не обработанных термически) и термически обработанных болтах измеряли твердость по Бринеллю и коэрцитивную силу на цилиндрической части. На рис. 1, а представлена зависимость между коэрцитивной силой и твердостью.

Аналитически эта зависимость имеет вид:

$$(НВ)=4 \cdot 10^{-4}(H_c)^2 - 0,43H_c + 295,33, \quad (1)$$

где НВ – твердость по Бринеллю;  $H_c$  – величина коэрцитивной силы; коэффициент корреляции 0,98.

Гайки из стали 35 проходят аналогичную термическую обработку до получения твердости по стандарту НВ 241...341.

На рис. 1, б представлена зависимость между коэрцитивной силой и твердостью для стали гаек.

Корреляционное уравнение имеет вид:

$$(НВ)= - 3 \cdot 10^{-4}(H_c)^2 + 0,85H_c - 222,71. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции 0,98.

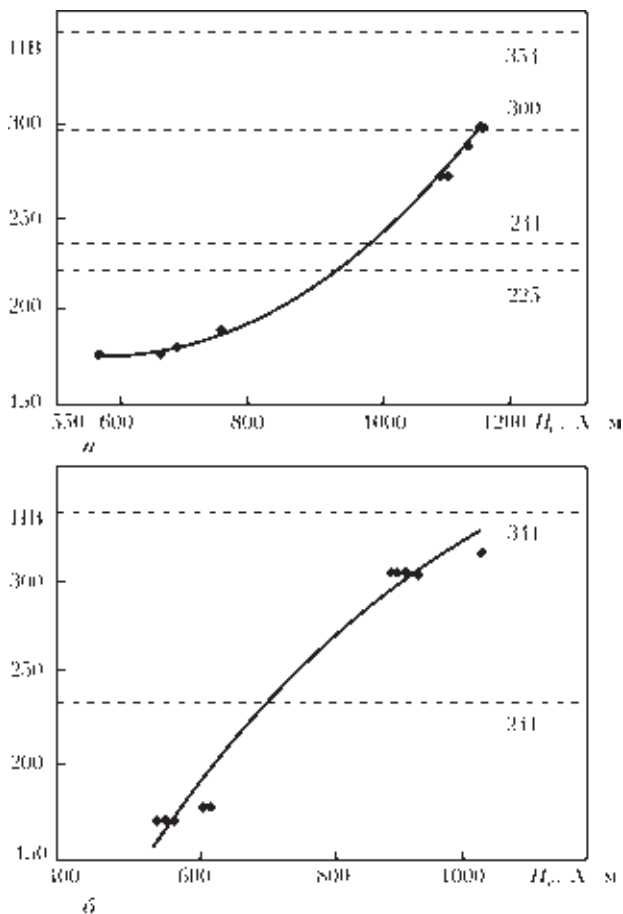


Рис. 1. Зависимость НВ от коэрцитивной силы  $H_c$  для болтов (а) и гаек (б) из стали 35 (числа на графике – нижний и верхний пределы твердости по стандарту)

На график нанесены уровни твердости по группам. Видно, что с помощью измерения коэрцитивной силы возможно отбраковывать болты и гайки из стали 35 на нижних и верхних пределах. Так, для болтов первой группы, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 15526–70, интервал по значениям коэрцитивной силы составляет (1000...1200) А/м, а для второй группы (950...1150) А/м. Коэрцитивная сила стали гаек, удовлетворяющих требованиям стандарта, имеет интервал (750...1100) А/м.

**Исследование болтов (M20×1,5) из стали 45Х (ГОСТ 22353–77) с шестигранной или круглой головкой.** Болты из стали 40Х термически обрабатывают на различную твердость по группам: первая – высокопрочные с твердостью НВ 302...388, вторая – с твердостью НВ 286...364), третья – болты башмака гусеницы трактора с твердостью НВ 269...363. Твердость измеряется на цилиндрической части болта.

До термической обработки («сырое» состояние) болты имеют твердость в интервале НВ 165...190, а значения коэрцитивной силы в интервале 750...900 А/м. Термическая обработка включает закалку в масле с последующим отпуском. На рис. 2 представлена зависимость твердости от коэрцитивной силы на цилиндрической

части болтов после термической обработки и в «сыром» состоянии.

Корреляционное уравнение имеет вид

$$(НВ) = -2 \cdot 10^{-4}(H_c)^2 + 0,59H_c - 168. \quad (3)$$

Коэффициент корреляции 0,8.

Для всех трех групп твердости возможно разделение по нижним пределам стандарта. В связи с тем, что в данной партии болтов максимальное значение твердости не превышало НВ 340...345, не удалось установить разделение групп по верхнему пределу.

Для первой группы твердости нижний предел, значения коэрцитивной силы составляет 1150, для второй – 1250, для третьей – 1350 А/м.

**Исследование шайб пружинных из стали 65Г.** Шайбы пружинные из стали 65Г подвергаются закалке (температура нагрева под закалку 860 °С) в масле с последующим отпуском при температуре 400 °С на твердость HRC<sub>3</sub> 41...51.

Результаты экспериментов обобщены в табл. 1.

**Анализ полученных данных.** В основном готовые изделия имеют определенный интервал соответствующих значений механических свойств в соответствии со стандартами. При соблюдении значений параметров технологических режимов большинство изделий удовлетворяет требованиям стандарта, однако часть образцов имеет более высокий уровень твердости, а часть – меньший уровень твердости, чем предусмотренные стан-

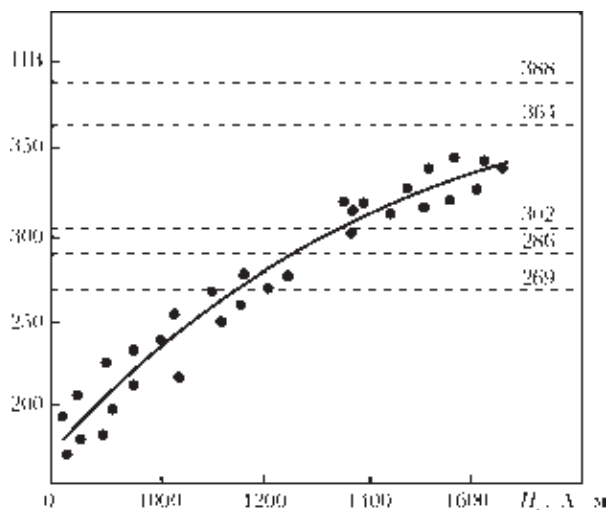


Рис. 2. Зависимость твердости НВ от коэрцитивной силы  $H_c$  для болтов из стали 40Х

Таблица 1. Значения твердости и коэрцитивной силы для шайб из стали 65Г

Характеристика	Состояние изделий		
	«сырое»	закаленное	закалка+отпуск при 400 °С
Твердость HRC <sub>3</sub>	<41	>51	41...51
Коэрцитивная сила $H_c$ , А/м	1200...1650	>2100	1650...2100

дартом. По исследованной группе изделий отбраковка по уровню твердости составляла порядка 9 %, причем практически одинаково как для групп с пониженной твердостью, так и с повышенной.

Исследования показали, что зависимость уровня твердости исходных изделий до термической обработки («сырое» состояние) в зависимости от значений углеродного эквивалента соответствует нормальному распределению. Установлено, что изделия, изготовленные из стали с углеродным эквивалентом на нижнем пределе для данной марки стали при термообработке по существующим режимам имеют уровень твердости несколько ниже нижней границы требований стандарта. В то же время образцы из стали с углеродным эквивалентом на верхнем пределе как правило после термической обработки по существующим режимам технологии имеют более высокий уровень твердости, чем верхняя граница требований стандарта.

На основании этих данных был сделан вывод, что для повышения выхода годной товарной продукции необходимо исходные изделия (в «сыром» состоянии) разделить на три группы в зависимости от значений углеродного эквивалента: «мягкие», «нормальные» и «твердые» (табл. 2). Режимы термической обработки необходимо назначать дифференцированно для каждой группы изделий. Например, для «мягких» изделий необходимо понизить температуру отпуска или, не изменяя температуру отпуска, уменьшить его время. Для «твердых» изделий необходимо повысить температуру отпуска или увеличить его время.

Наиболее приемлемым с технологической точки зрения является изменение времени отпуска.

Применение дифференцированного подхода при назначении режимов термической обработки

Таблица 2. Распределение сталей по группам в зависимости от величины углеродного эквивалента

Марка стали	Значения углеродного эквивалента		
	«мягкие»	«нормальные»	«твердые»
Сталь 35	0,45...0,47	0,48...0,55	0,56...0,58
Сталь 40Х	0,60...0,62	0,63...0,76	0,77...0,80
Сталь 65Г	0,86...0,88	0,89...0,97	0,98...1,00

изделий невозможно без использования неразрушающего контроля.

Для повышения качества товарной продукции можно использовать систему управления качеством [3]. На рис. 3 представлена принципиальная блок-схема системы управления качеством. Система позволяет после каждой технологической операции контролировать уровень твердости изделий и своевременно отбраковывать изделия, не удовлетворяющие заданным свойствам. Изделия, не удовлетворяющие требованиям стандарта, либо переводятся в другую группу товарной продукции, либо назначаются на повторную термическую обработку.

Применение НК после каждой термической обработки позволяет контролировать процессы и работу оборудования для нагрева и охлаждения изделий.

При параллельном поштучном измерении твердости и коэрцитивной силы отбраковка изделий в первом случае составила 9 %, а во втором 10. Причем, отбраковка по нижнему и верхнему пределам практически одинакова в обоих случаях. При партионном контроле измерения твердости брак составляет 7 %. Таким образом, применение неразрушающего поштучного контроля изделий уменьшает риск потребителя на 3 %.

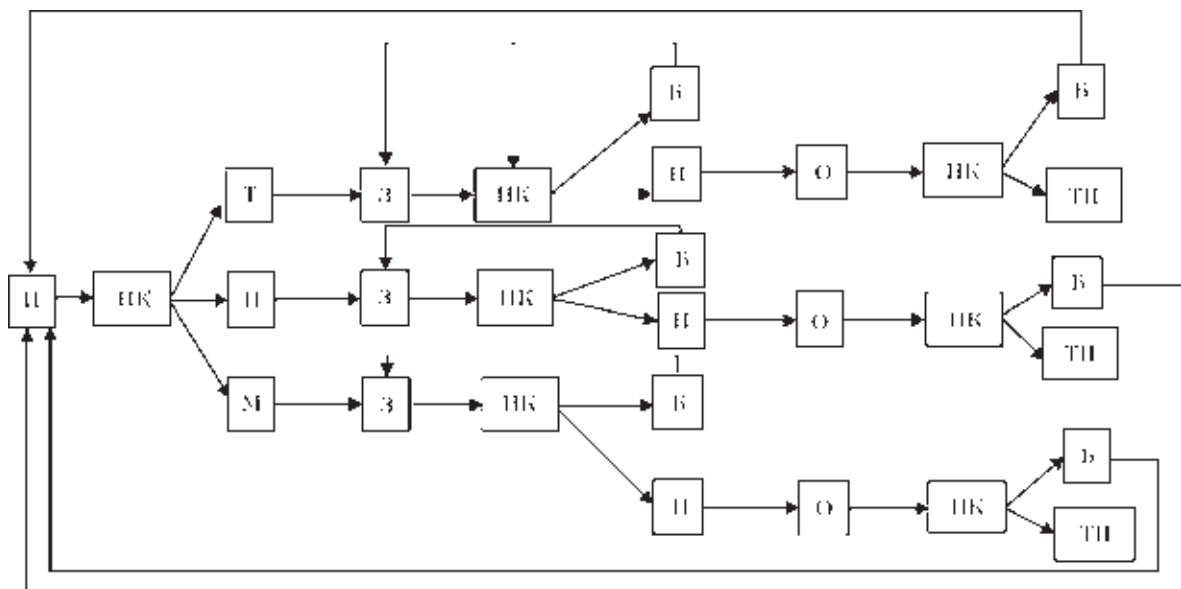


Рис. 3. Блок-схема системы управления качеством: И – исходные изделия; НК – неразрушающий контроль; З – закалка; О – отпуск; Т – «твердые» изделия; М – «мягкие» изделия; Н – нормальные изделия; Б – брак; ТП – товарная продукция



## Выводы

Установлена возможность разделения метизов по группам твердости с помощью коэрцитиметра СИЛА. Рекомендованы интервалы коэрцитивной силы для групп твердости в соответствии со стандартом для болтов и гаек из сталей 35 и 40Х и пружинных гаек из стали 65Г.

Для повышения выхода годной продукции рекомендовано дифференцировать детали в «сыром» состоянии на «мягкие», «нормальные» и «твердые» в зависимости от значений углеродного эквивалента марки стали.

The possibility of by the piece control of metallic products using non-destructive method under industrial conditions was investigated. Magnetic flux-gate method measuring the values of steel coercive force with the help of structure pulse local analyzer (SPLA) was used. Examined objects are M20x1.5 bolts from steel 35 and 40Kh and spring washer from steel 65G. The products were quenched in oil with further tempering. Regression equations, combining product hardness (HRCe) with coercive force value were proposed. Correlation factor made not less than 0.8. The ranges of coercive force values, in which steel hardness can meet the standard requirements, were determined. It is shown that reduction of product rejection on hardness requires consideration of a carbon equivalent value. Relationship between carbon equivalent and hardness was determined. Differentiation of tempering temperature depending on the carbon equivalent was proposed. A principle scheme of quality control at manufacture of metallic products was developed. It includes product NDT before heat treatment, consideration of level of the steel carbon equivalent and final NDT. Ref.3, Tables 2, Figures 3.

*Keywords* : non-destructive testing, flux-gate transducer, metal products, steel hardness, correlation equation, heat treatment, delivery control

Показано, что поштучный контроль метизов снижает возможность получения потребителем нестандартной продукции.

1. Гаркунов Э. С. Контроль качества отпущенных изделий из среднеуглеродистой стали с использованием приставных электромагнитов // Дефектоскопия. – 1987. – № 2. – С. 30–32.
2. Максимов А. Б. Определение механических свойств арматурной стали неразрушающим методом // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2008. – № 3. – С. 70–73.
3. Максимов А. Б., Гофман Л. Д., Кибалов А. А. Система управления качеством производства остряковых рельсов // Нові матеріали і нові технології в металургії та машинобудуванні. – 2008. – № 1. – С. 125–128.

Поступила в редакцию  
03.03.2013

## Вниманию специалистов!

Во втором квартале 2014 г. запланирована к изданию книга «**Практические рекомендации Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины по ремонту сваркой магистральных трубопроводов без вывода из эксплуатации**» / Л. М. Лобанов, В. И. Махненко, А. С. Миленин. — Киев, Международная ассоциация «Сварка», 2014. (8 п. лист.).

Рекомендации посвящены вопросам оценки несущей способности магистральных газо- и нефтепроводов с обнаруженными характерными технологическими и эксплуатационными дефектами формы и несплошности материала, а также типичным методам ремонта сваркой без вывода из эксплуатации. В частности, обобщены основные аспекты актуальных отечественных и зарубежных нормативных документов, современные подходы механики разрушения и численного анализа напряженно-деформированного состояния сварных конструкций, новейшие разработки специалистов Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины. В результате сформулированы практические инженерные алгоритмы, позволяющие оценивать фактическую степень поврежденности участков магистральных трубопроводов на основе данных технической диагностики, планировать ремонт дефектных трубопроводных элементов без вывода их из эксплуатации с позиций эффективности и безопасности проведения работ, прогнозировать ресурс эксплуатации участков трубопровода после ремонта.

Для инженерного персонала организаций, эксплуатирующих магистральные трубопроводы, специалистов неразрушающего контроля и технической диагностики трубопроводных систем, преподавательского состава высших учебных заведений соответствующего профиля, научных работников, занимающихся вопросами прочности сварных конструкций и методами восстановления их несущей способности.

*Заказы на книгу направлять в редакцию журнала ТД и НК.*