

*к.т.н. Еришов В.М.,
Горецкий Ю.В.,
Бутковская Н.В.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Приведені результати вимірювання термоЕДС загартованої і відпущеної інструментальної сталі ХВГ. Показана можливість термоелектричного контролю ефекту разупрочнення інструменту при експлуатації.

Ключові слова: термічна обробка стали, термоЕДС, гарячий відпуск, контроль режимів, твердість, разупрочнення.

Приведены результаты измерения термоЭДС закаленной и отпущенной инструментальной стали ХВГ. Показана возможность термоэлектрического контроля эффекта разупрочнения инструмента при эксплуатации.

Ключевые слова: термическая обработка стали, термоЭДС, закалка, отпуск, контроль режимов, твердость, разупрочнение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В производственной практике термической обработки сталей часто возникает необходимость проверки качества обработанного материала, зависящего прежде всего от правильности использованных режимов термообработки. Для этих целей обычно используют замер твердости изделий. Однако, применительно к инструментальным материалам, данный вид контроля не позволяет судить о правильности выбранных или использованных режимах термообработки. Так, высокая твердость высокоуглеродистой стали может получиться при закалке от температур незначительно превышающих точку Ac_1 , когда в мартенсите будет минимальная концентрация атомов углерода и легирующих элементов.

Для решения вышеназванных задач, в настоящее время все шире используются физические методы контроля качества термообработанных изделий (токовихревые, акустические, термоэлектрические, рентгенографические и др. [1]), которые чувствительны к составу твердого раствора и, тем самым, дают возможность оптимизировать режимы термообработки.

Анализ исследований и публикаций.

Из монографий [1,2] известно, что для контроля твердых растворов закаленных сталей исследователи неоднократно пытались использовать термоэлектрические методы. При этом наиболее часто применяют метод, основанный на эффекте Зеебека, когда измеряется разность потенциалов (термоЭДС) между горячим и холодным электродами, прижатыми к контролируемой поверхности металлического изделия.

В настоящем исследовании, авторы применили для анализа термообработанной стали ХВГ специализированный электрический прибор «ТЭДИ» конструкции В.М.Ершова. Внешний вид и принцип работы прибора приведен в работе [3].

Постановка задачи.

Задачей настоящей работы является изучение влияния режимов термической обработки инструментальной стали ХВГ на величину термоЭДС с целью контроля правильности выбора режимов обработки и оценки изменений в состоянии материала штамповочного инструмента после цикла эксплуатации.

Изложение материала и его результаты.

Для экспериментальной части настоящего исследования, из прутка стали ХВГ была изготовлена партия цилиндрических образцов, каждый из которых имел диаметр 20 мм и высоту 15 мм.

Одна партия образцов была закалена в масле от температуры 800°C , т.е. на 50°C выше точки $\text{Ac}1(750^{\circ}\text{C})$. Другая – от температуры 850°C , т.е. температуры, с которой рекомендуется производить закалку этой стали [4]. Третья партия образцов закаливалась от температуры 900°C , следовательно, выше рекомендуемой, но несколько ниже точки $\text{Acm}(920^{\circ}\text{C})$.

В каждой партии часть образцов оставлялась нами как исходнозакаленная, а другая - проходила отпуск на температуры 200, 300, 400 и 500°C с выдержкой 1 час. На защищенных образцах, прошедших термическую обработку, измеряли твердость по Роквеллу.

Из данных измерения твердости, приведенных на рис.1, следует, что она у всех закаленных образцов находится в пределах 61-63 HRC А это соответствует реальному разбросу значений твердости для каждого образца. Поскольку разброс практически не зависит от температуры закалки, то он и не дает возможности проверить правильность выполнения этого важнейшего этапа термической обработки инструментальной стали.

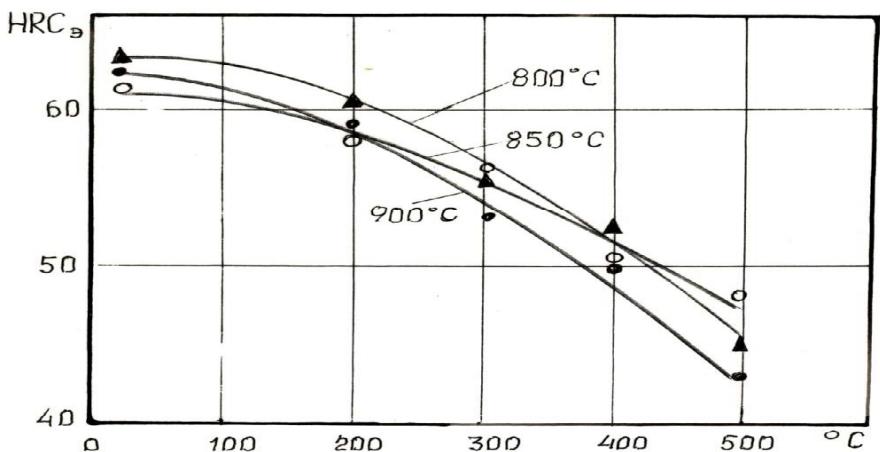


Рисунок 1 – Зависимость твердости образцов стали ХВГ от температуры закалки ($800, 850, 900^{\circ}\text{C}$) и отпуска

Кроме того, этот разброс значений твердости остается практически неизменным и при отпуске. Только при высоком отпуске (500°C) различие между партиями становится заметнее.

Далее все образцы проходили термоэлектрический контроль на приборе «ТЭДИ». При этом были использованы два различных материала электродов: железо и медь, материалы, которые наиболее часто используются в практике термоэлектрического контроля изделий.

Для оценки инструментальной погрешности измерения термоЭДС образцов, была проведена работа по определению эффекта снижения температуры горячего электрода в контакте с поверхностью контролируемого образца и анализа темпа ее восстановления, т.е. «отогрева» при прекращении контакта. Дополнительно проанализировали и влияние силы прижатия электродов на величину термоЭДС.

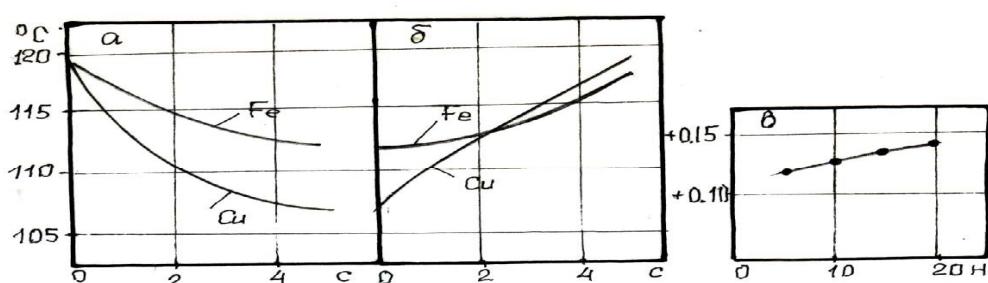


Рисунок 2 – Временной эффект снижения температуры горячего электрода (для железа и меди) при контакте с поверхностью образца (а), восстановление температуры при отогреве (б) и зависимость термоЭДС от силы прижатия горячего электрода к поверхности образца (в)

Из данных, приведенных рисунком 2а видно, что выдержка горячего электрода в контакте с поверхностью образца привела к снижению его температуры, особенно для медного электрода, обладающего большей теплопроводностью, чем железный. Отогрев электродов к стабильной рабочей температуре (120°C) (рисунок 2б) завершается за 5-6 секунд. Поэтому снятие показаний с прибора производили через 5с продолжительности контакта, а время между каждым последующим замером ЭДС всегда было больше 10с. Учитывая зависимость величины термоЭДС от силы прижатия горячего электрода к контролируемой поверхности (рисунок 2в), держатель горячего электрода был снабжен пружиной, создающей постоянную силу прижатия в 10н.

С учетом стабильности поддержания температуры горячего электрода ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), времени снятия показаний ЭДС с цифрового табло и вариаций давления прижатия горячего электрода, инструментальная погрешность измерения ЭДС не превышала ± 0.02 мВ.

На рисунке 3 приведены экспериментальные данные измерения термоЭДС закаленных и отпущеных образцов исследуемой стали.

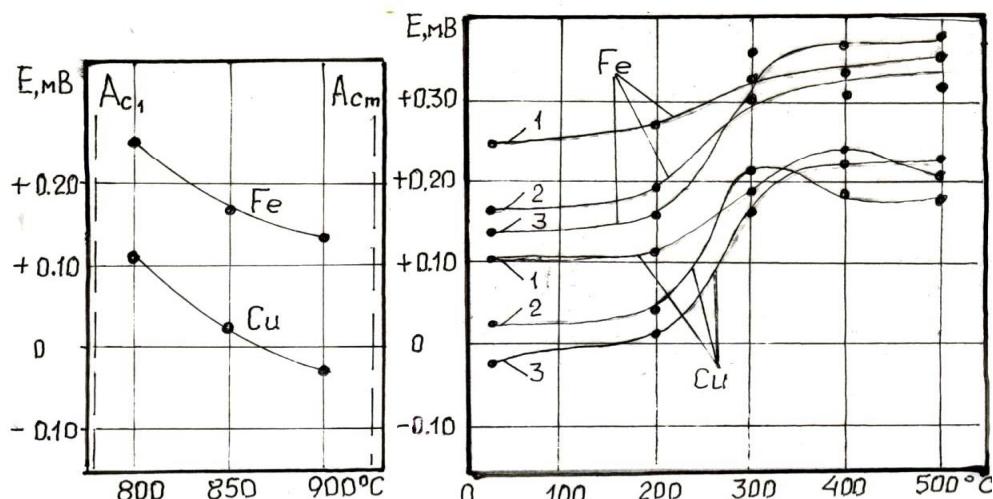


Рисунок 3 – Зависимость термоЭДС ($E, \text{мВ}$) от температуры закалки образцов стали ХВГ для двух материалов электродов (Fe.Cu) (левый рисунок) и зависимость ЭДС от температуры отпуска закаленных от 800°C – 1, 850°C – 2 и 900°C – 3 для двух вышеназванных материалов электродов (правый рисунок)

Из данных, приведенных на рисунке 3 следует, что величина термоЭДС весьма чувствительна к изменению температуры закалки стали, а это дает возможность контролировать правильность режима нагрева под закалку. В то время как замер твердости (рисунок 1) не позволяет отличить оптимальную температуру закалки (850°C) данной стали, от не рекомендуемых (800 и 900°C).

Термоэлектрические свойства отпущенных образцов, приведенные на рисунке 3, показали, что при низком отпуске (до 200°C) ЭДС практически не отличается от значений для закаленного состояния, но выше 200°C , отмечается резкий подъем значений Е. Сохранение значений Е при низком отпуске, на наш взгляд, определяется однофазным характером распада мартенсита, когда весь углерод еще находится в твердом растворе и лишь его малая часть связана в ϵ – карбиде. В интервале температур нагрева от 200 до 300°C ϵ – карбид начинает трансформироваться в цементит, атомы углерода в значительном количестве выходят из приграничных областей мартенситных кристаллов, что сильно влияет на ЭДС.

Образующаяся при среднем отпуске, двухфазная смесь малоуглеродистого мартенсита и цементита незначительно изменяет величину термоЭДС, она продолжает расти с увеличением температуры отпуска, но темп роста очень слабый. Таким образом, измерение термоЭДС отпущенных образцов показало возможность контроля режима при переходе от низкого к среднему отпуску. Учитывая тот факт, что низколегированные инструментальные стали проходят только низкий отпуск, замером ЭДС можно отбраковывать детали с неоправданно высокой температурой отпуска.

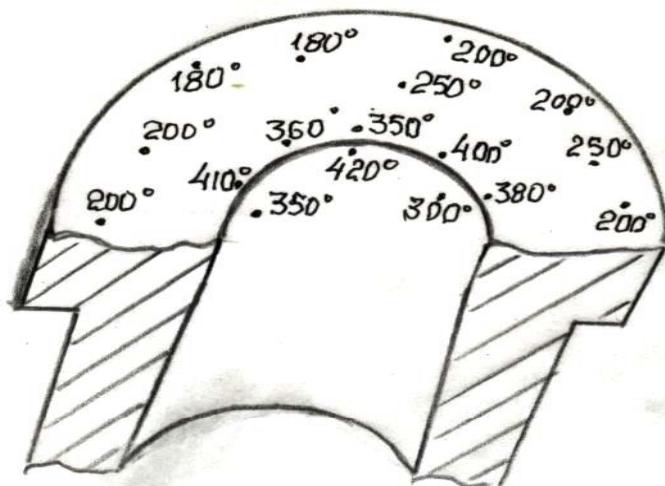


Рисунок 4 – Эскиз части матрицы холодного штампа из стали ХВГ после длительной эксплуатации. Точки на поверхности матрицы указывают место измерения ЭДС и значения температуры эксплуатационного отпуска

Кроме того, измерение термоЭДС у термообработанных разновидностей инструмента позволяет определить изменение состояния материала в процессе эксплуатации. Причем это можно сделать локально и непосредственно в узлах, например, штамповного инструмента. На рисунке 4 приведен эскиз матрицы разделительного штампа после длительной эксплуатации. На эскиз нанесены значения температур «эксплуатационного отпуска», т. е. дополнительного отпуска, связанного с разогревом инструмента при холодной деформации металла. Эксплуатационные температуры были определены по результатам измерения термоЭДС в указанных точках и перевода их значений в температуры по данным рисунка 3.

Здесь видно, что в участках матрицы, непосредственно примыкающих к режущей кромке, отмечаются сравнительно высокие температуры отпуска, несомненно, вызывающие разупрочнение материала инструмента.

Если производить термоэлектрический контроль инструмента периодически во время эксплуатации, то можно определить время начала его разупрочнения и принять соответствующие меры.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Результатом настоящего исследования является установление принципиальной зависимости термоэлектрических свойств от режимов термообработки инструментальной стали ХВГ. Показана возможность использования метода термоЭДС для оценки состояния материала штамповного инструмента в процессе его эксплуатации.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сосредоточены на изучении особенностей зависимости ЭДС при среднем и высоком отпусках.

Библиографический список

1. Белокур И.П., Коваленко В.А. Дефектоскопия материалов и изделий. – К.: Техника. 1989. С.192.
2. Денель А.К. Дефектоскопия металлов. – М.: Металлургия. 1972. С.304.
3. Григорьев С.В., Русанова Н.В., Ершов В.М. Применение термоэлектрического метода для сортировки промышленных сталей. Сб. научных работ сотрудников ДонГТУ 2008. №27. С. 213-219.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Обработка инструментальных материалов. – К.: Техника. 1988. С.175.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Луценко В.А.