

*к.т.н. Ершов В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ШЛИФОВАННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Приведені експериментальні результати рентгенографічного і термоелектричного аналізів змісту залишкового аустеніту в шліфованому шарі ряду інструментальних сталей .

***Ключові слова:** інструментальні сталі, шліфовка, залишковий аустеніт, рентгеновський аналіз, термоелектричний контроль.*

Приведены экспериментальные результаты рентгеновского и термоэлектрического анализов содержания остаточного аустенита в шлифованном слое ряда инструментальных сталей.

***Ключевые слова:** инструментальные стали, шлифовка, остаточный аустенит, рентгеновский анализ, термоэлектрический контроль.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Известно [1], что поверхностный слой термоупрочненных инструментальных сталей при шлифовке разогревается до температур частичной или полной аустенитизации. Последующее за разогревом, резкое охлаждение слоя создает эффект вторичной закалки и появление в поверхностном слое значительного количества остаточного аустенита. Этот аустенит существенно снижает теплостойкость стали и тем самым уменьшает ресурс работы инструмента. Для оптимизации режимов шлифовки и особенно переточки инструмента, необходимо контролировать содержание остаточного аустенита в поверхностном слое.

В настоящее время для определения количества аустенита в слое чаще всего используется рентгеноструктурный анализ, который позволяет прецизионно измерять содержание всех фаз структуры стали. Однако у этого метода имеется ряд недостатков, существенно ограничивающих его применение в инструментальном производстве. Это прежде всего касается ряда требований к форме поверхности контролируемого изделия: для анализа нужна плоская поверхность размером не менее 5 – 10 мм², а сам инструмент не должен иметь больших размеров и значительного веса.

В настоящей работе, являющейся продолжением ряда наших работ [2,3], сделана попытка применения термоэлектрического метода для контроля содержания остаточного аустенита в шлифованных инструментальных сталях. Этот метод обладает высокой чувствительностью к фазовому составу сталей [4] и лишен вышеназванного недостатка рентгеновского метода анализа. Он позволяет локально определять содержание остаточного аустенита в слое независимо от конфигурации поверхности инструмента и его размеров.

Анализ исследований и публикаций.

Структурная чувствительность термоэлектрического метода контроля фазового состава сталей и сплавов была неоднократно подтверждена рядом исследований [4 - 6]. При этом было обнаружено, что состав и количество той или иной фазы сплава влияет на величину термоЭДС сплава. Этот факт дает основание для использования термоэлектрического метода для анализа фазового состава шлифованного слоя инструментальных сталей.

Постановка задачи.

Задачей настоящей работы является исследование зависимости величины термоЭДС шлифованных сталей от содержания остаточного аустенита в их поверхностном слое.

Изложение материала и его результаты.

Исследование выполняли на торцевой поверхности цилиндрических образцов диаметром 20-25 мм и высотой 20 мм из высокоуглеродистых инструментальных сталей следующих марок: ШХ15, Х12М и Р6М5. Химический состав этих сталей соответствовал ГОСТ 5950-73, 19265-73.

Все образцы выбранных сталей проходили типовую упрочняющую термическую обработку: закалку и отпуск. После отпуска их подвергали шлифовке по режимам, приведенных в наших ранних работах [2.3].

Далее шлифованные образцы проходили рентгеновский анализ фазового состава с использованием дифрактометра ДРОН-1,5. На дифрактограммы, снятых в фильтрованном железном излучении, регистрировали линии аналитической пары: мартенсита – (110) – (011) и аустенита – (111). Количество остаточного аустенита - %А в поверхностном слое каждого образца рассчитывали по известной формуле: $\%A = (100 - \kappa) / (1 + \alpha (I_M / I_a))$, где κ обозначает процентное содержание в анализируемом слое карбидной фазы, α – коэффициент, учитывающий отношение интенсивностей дифракционных линий мартенсита – I_M и аустенита – I_a .

В низкоотпущенной стали ШХ15 карбидная фаза в структуре отсутствует, а в высокохромистой и быстрорежущей сталях Х12М и Р6М5

количество карбидной фазы в структуре не более 8% [2], что дало возможность применить для расчета содержания остаточного аустенита в поверхностном слое упрощенную формулу Ланды [7] : $\%A = 100 (I_a / I_a + I_M)$. Погрешность в определении процентного содержания остаточного аустенита по данной методике не превышала $\pm 3\%$

После завершения рентгеновского анализа фазового состава шлифованной поверхности образцов, на их шлифованной стороне производили измерение термоЭДС с использованием прибора ТЭДИ-1 и методики, ранее примененной нами в работах [2,3,7]. Здесь для термоэлектрического контроля применяли стержневые электроды из поликристаллического вольфрама. При этом горячий электрод в щупе прибора нагревался до температуры 120°C , что обеспечивало стандартную разность температур (100°C) между холодным и горячим электродами.

Полученные значения количества остаточного аустенита в шлифованном слое каждого образца сопоставляли с величинами термоЭДС. На рисунке 1 приведена зависимость значений термоЭДС поверхностного слоя образцов хромистых сталей ШХ15 и Х12М от количества остаточного аустенита .

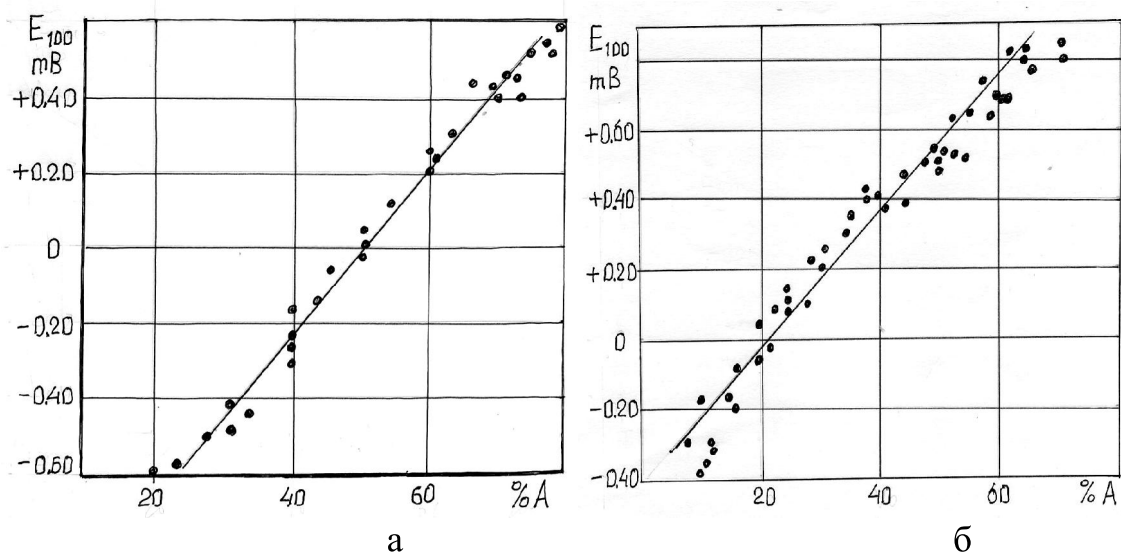


Рисунок 1 – Зависимость величины термоЭДС (E_{100}) шлифованного слоя сталей ШХ15 (а) и Х12М (б) от содержания в нем остаточного аустенита ($\%A$)

Как следует из приведенных на рисунке 1 данных, между значениями термоЭДС и содержанием остаточного аустенита в шлифованном слое наблюдается прямая пропорциональность. Корреляционный анализ зависимостей $\%A = f(E_{100})$ показал, что для шлифованного слоя стали ШХ15 применимо уравнение :

$$\%A = 49.35 E_{100} + 23.61 \quad (R = 0.97).$$

Для высокохромистой стали X12M подобное уравнение будет иметь следующий вид:

$$\%A = 46.23 E_{100} + 50.73 \quad (R = 0.99).$$

Расчетные значения количества остаточного аустенита в зависимости от величины термоЭДС нанесены на графики рисунка 1 сплошными линиями.

Если сопоставить вышеприведенные уравнения для исследуемых хромистых сталей, то прежде всего обращает на себя внимание то обстоятельство, что в первом слагаемом этих уравнений коэффициенты перед значением E_{100} практически одинаковы (46.2 и 49.3), а вторые слагаемые имеют существенные различия. Близость первых коэффициентов в уравнениях свидетельствует о единой причине изменения термоЭДС в сталях различного химического состава. Действительно, большое количество хрома в стали X12M (около 12%) по сравнению со сталью ШХ15 (около 1.5%) увеличивает значение второго слагаемого в уравнении, а близкое содержание атомов углерода в исследуемых сталях, надо полагать, определяет практически одинаковые значения первых коэффициентов.

Таким образом, следует признать, что линейная зависимость количества остаточного аустенита от величины термоЭДС определяется содержанием углерода в мартенсите и остаточном аустените. При ужесточении режимов шлифования сталей происходит увеличение температуры поверхности трения, растет растворимость карбидов, аустенит насыщается атомами углерода и хрома, что при резком охлаждении в результате закалки поверхностного слоя, фиксируется все возрастающее количество остаточного аустенита.

У образцов быстрорежущей стали Р6М5 зависимость термоЭДС от количества остаточного аустенита в поверхностном слое, имеет обратную пропорциональность. Как видно из данных рисунка 2, при увеличении количества остаточного аустенита в поверхностном слое величина E_{100} плавно снижается, причем – линейно. На основе проведенного математического анализа, данную зависимость можно представить уравнением:

$$\%A = 70.96 - 93.12 E_{100} \quad (R = - 0.987).$$

На рисунке 2 расчетные значения %А по данному уравнению нанесены сплошной линией.

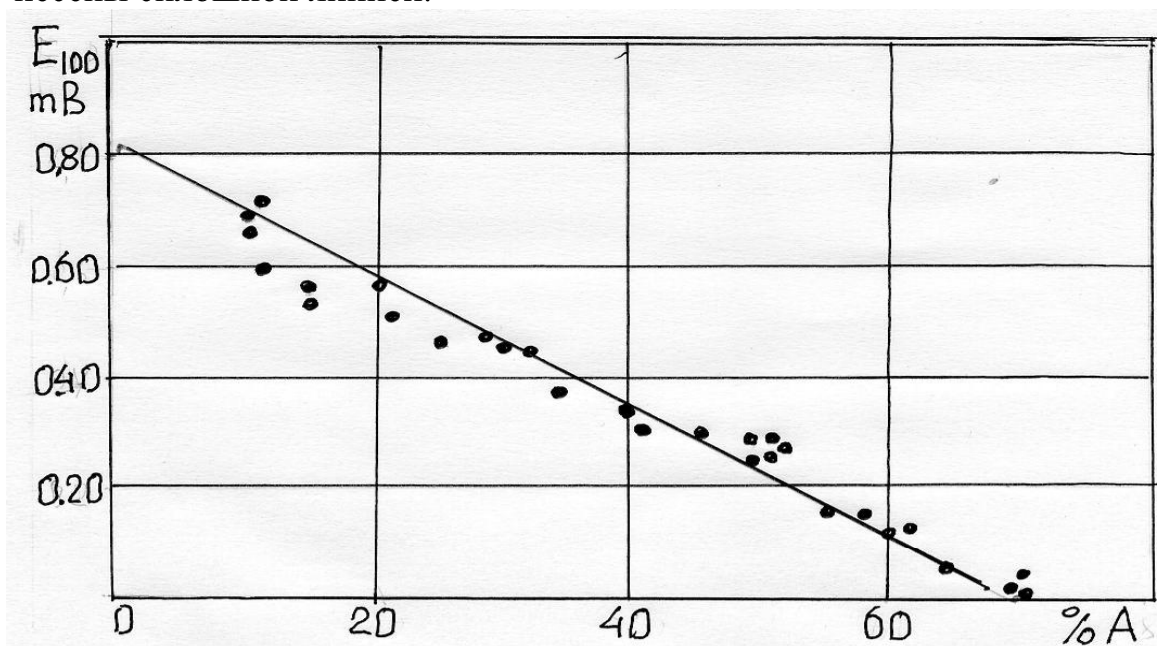


Рисунок 2 – Зависимость величины термоЭДС шлифованного слоя (E_{100}) образцов стали Р6М5 от содержания в нем остаточного аустенита (%А)

Для объяснения зависимости $\%A = f(E_{100})$ для быстрорежущей стали учли то обстоятельство, что в твердом растворе (мартенсите) содержится только половина атомов углерода (до 0,4%), а другая часть его массы сосредоточена в специальных карбидах, обладающих высокой термической устойчивостью. Поэтому, высокие температуры скоростного нагрева при шлифовании только частично растворяют карбиды и соответственно насыщают аустенит углеродом. Если хром, входящий в химический состав данной стали в виде карбида $M_{23}C_6$, может полностью раствориться в аустените, то вольфрам и молибден, лишь частично растворяются в гамма-фазе, но, как видно из рисунка 2, существенно снижают E_{100} , причем более интенсивно, чем повышает его углерод.

Таким образом, линейная зависимость термоЭДС от содержания остаточного аустенита в шлифованном слое всех исследованных сталей, дает возможность применять термоэлектрический метод для контроля структуры стальных деталей и инструмента. Оценка погрешности измерения содержания остаточного аустенита термоэлектрическим методом по отношению к рентгеновскому методу составила $\pm 2,5\%$.

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунке 1 и 2, показывает, что значения термоЭДС обладают заметным рассеянием, особенно при малых количествах остаточного аустенита (рисунок 2). Поэтому следующим этапом настоящей работы стало металлографиче-

ское исследование характера распределения остаточного аустенита в структуре шлифованного слоя.

Металлографическое исследование поверхностного слоя образцов выполняли на микроскопе МИМ-8м при различных увеличениях. При этом изучали структуру как поверхности шлифованных образцов, так и структуру косых шлифов ($1-1.5^{\circ}$) среза шлифованного слоя. На рисунке 1 приведены типичные образцы структуры слоя шлифованной поверхности стали Р6М5.

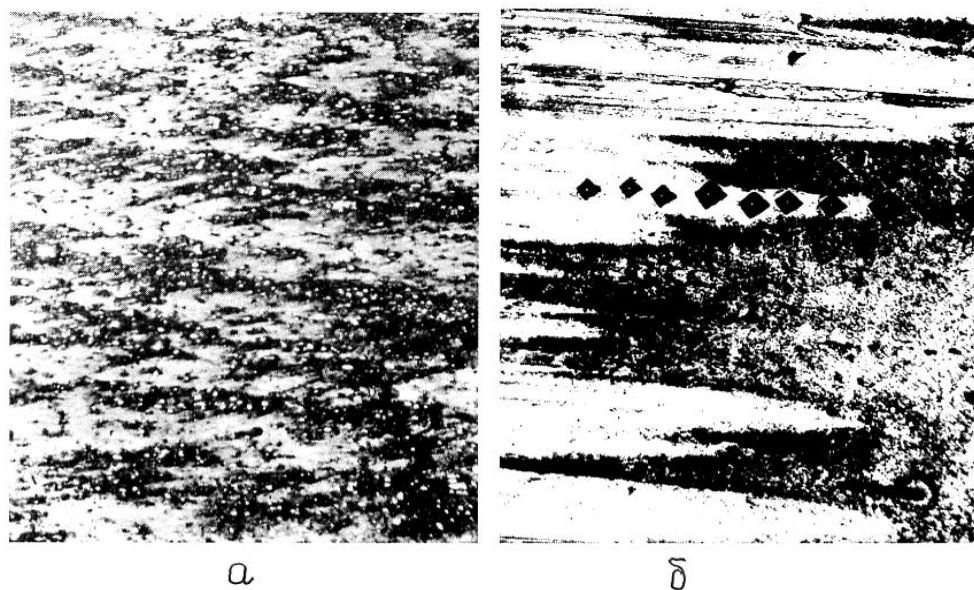


Рисунок 3 – Микроструктуры шлифованной поверхности образца стали Р6М5 (а) при увеличении 100 и косого шлифа в области фрагмента вторичной закаленной структуры (б) при увеличении 650 раз

Как видно на рисунке 3, фрагменты структуры с типичными белыми слоями вторичной закалки расположены неравномерно по поверхности образца, они вытянуты в направлении движения шлифовального круга, а между ними находятся участки отпущенной структуры стали. Данное структурное состояние шлифованной поверхности образцов объясняет природу разброса значений E_{100} , т.к. тонкий щуп термоэлектрического прибора может при замере термоЭДС попасть на участок с минимальным количеством белых полос вторичной закалки. В тоже время рентгеновский метод, регистрирующий структурное состояние со сравнительно большей площади (до 1 см^2), обладает большей статистической надежностью оценки фазового состава.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Проведенное исследование показало, что термоэлектрический метод измерения количества остаточного аустенита в шлифованном слое

высокоуглеродистых инструментальных сталей имеет высокую чувствительность и надежность.

В дальнейших исследованиях по данному направлению необходимо изучить влияние вариации в химическом составе каждой марки инструментальной стали на надежность оценки фазового состава шлифованного материала.

Библиографический список

1. Палей М.М., Дибнер Л.Г., Флид М.Д. *Технология шлифования и заточки режущего инструмента.* – М.: Машиностроение, 1988. С.288.

2. Еришов В.М., Коробко Т.Б. *Рентгеновский анализ поверхностного слоя шлифованной быстрорежущей стали.* Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. № 28. 2008. С. 206-211.

3. Мисюра А.А., Еришов В.М. *Аустенитизация поверхностного слоя быстрорежущей стали при шлифовании.* Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. № 27. 2008. С. 198-205.

4. Лившиц Б.Г., Крапошкин В.С., Линецкий Я.Л. *Физические свойства металлов и сплавов.* – М.: Металлургия. 1980. С.320.

5. Денель А.К. *Дефектоскопия металлов.* – М.: Металлургия. 1972. С.304.

6. Белокур И.П., Коваленко В.А. *Дефектоскопия материалов и изделий.* К.:Тэхника. 1989 С. 192.

7. Еришов В.М., Горецкий Ю.В., Бутковская Н.В. *Термоэлектрический контроль режимов термической обработки инструментальной стали.* Сборник научных трудов сотрудников ДонГТУ. № 29. 2009. С. 89-205.

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