

УДК 620.178

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
МИКРОТВЕРДОСТИ ЦЕМЕНТИТА ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧУГУНА**

**В.И. Мощенко, профессор, к.т.н., И.В. Дощечкина, доцент, к.т.н.,
И.Е. Кухарева, аспирант, ХНАДУ, Т.С. Скобло, профессор, д.т.н.,
А.И. Сидашенко, профессор, к.т.н., В.М. Власовец, профессор, д.т.н.,
Ю.Д. Красников, студент, ХНТУСХ**

Аннотация. Рассмотрены факторы, влияющие на погрешность измерения микротвердости цементита в интервале нагрузок 0,049 – 1,962 Н. Уточнены рекомендации для пересмотра ГОСТ 9450-78.

Ключевые слова: микротвердость, погрешность измерения, цементит, восстановленный отпечаток, нагрузка на индентор.

**ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ
МИКРОТВЕРДОСТІ ЦЕМЕНТИТУ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧАВУНУ**

**В.І. Мощенко, професор, к.т.н., І.В. Дощечкіна, доцент, к.т.н.,
І.Є. Кухарева, аспірант, ХНАДУ, Т.С. Скобло, професор, д.т.н., А.І. Сідашенко,
професор, к.т.н., В.М. Власовець, професор, д.т.н.,
Ю.Д. Красніков, студент, ХНТУСХ**

Анотація. Розглянуто фактори, що впливають на похибки вимірювання микротвердості цементиту в інтервалі навантаження 0,049–1,962 Н. Уточнено рекомендації для перегляду ГОСТ 9450-78.

Ключові слова: микротвердість, похибка вимірювання, цементит, відновлений відбиток, навантаження на індентор.

**INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON MICROHARDNESS TEST ERRORS
OF CEMENTITE OF Cr-Ni CAST IRON**

**V. Moschenok, Professor, Candidate of Technical Science, I. Doshchekina, Associate
Professor, Candidate of Technical Science, I. Kukhareva, post-graduate, KhNAHU,
T. Skoblo, Professor, Doctor of Technical Science, A. Sidashenko, Doctor of Technical
Science, V. Vlasovets, Professor, Doctor of Technical Science,
Y. Krasnikov, student, KhNTAU**

Abstract. The factors that influence on microhardness test errors of cementite under test loading from 0.049 to 1.962 N were investigated. The recommendations for reconsidering GOST 9450-78 were specified.

Key words: microhardness, test errors, cementite, recovered indent, test load.

Введение

Валки прокатных станков являются необходимым элементом технологии производства листового металла. От их эксплуатационной стойкости в значительной мере зависит каче-

ство проката. Для обеспечения необходимого комплекса свойств, прежде всего твердости и износостойкости, рабочий слой валков отливают из хромоникелевого чугуна, который содержит значительную долю легированного цементита [1]. В зависимости от условий по-

лучения чугуна, степени легирования эта карбидная фаза может иметь различную микротвердость. А именно микротвердость является оценочным параметром качества рабочей поверхности прокатного вала. Поэтому оценка влияния различных факторов на погрешности её измерения является актуальной.

Анализ публикаций

Измерение микротвердости материалов на сегодняшний день регламентировано ГОСТ 9450. Однако этот нормативный документ не указывает на необходимость соблюдения ряда специальных условий при испытании и не предусматривает оценки погрешностей измерения, что вносит некоторую неопределенность в получаемые результаты индентирования структурных составляющих, особенно таких твердых и хрупких как цементит [1, 2].

В предыдущих работах [3, 4] была выполнена оценка влияния различных факторов на погрешность измерения микротвердости аустенита и феррита, которая позволила уточнить оптимальную нагрузку на индентор, при которой фиксируются не только стабильные, но и наиболее точные показатели микротвердости структурных составляющих.

Данная работа продолжает цикл исследований, направленных на уточнение положений стандарта ГОСТ 9450-78, и посвящена исследованию свойств цементита.

Цель и постановка задачи

Цель работы – оценить влияние различных факторов на погрешность измерения микротвердости цементита.

Для достижения поставленной цели изучали влияние скорости нагружения индентора, жесткости подложки, на которой находится образец, поля распределения пластических деформаций вокруг отпечатка, границ зерен, величины нагружения и времени выдержки на уровень микротвердости и разброс её значений.

Результаты исследований очень важны для разработки отраслевого стандарта контроля качества рабочей поверхности прокатных валков.

Материалы и методики исследований

Исследовали цементит хромоникелевого чугуна, из которого был получен поверхностный слой бочки прокатного вала методом центробежного литья.

Микротвердость оценивали на приборе ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка при внедрении в поверхность алмазной пирамиды Виккерса под нагрузкой от 0,049 до 1,962 Н.

Как правило, диагонали отпечатка измеряются окулярным микрометром с точностью до 0,15 мкм. Однако при определении микротвердости твердых и хрупких фаз отпечаток очень часто искажен, имеет сколы и трещины, что приводит к существенной ошибке в ее оценке. Нами был использован усовершенствованный прибор ПМТ-3, соединенный с персональным компьютером, что позволяет увеличить отпечаток и измерить его с большей точностью. Длина диагоналей отпечатка рассчитывается автоматически, и определяется их среднее значение. Данная методика менее трудоемка, более продуктивная и точная.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Несмотря на высокую микротвердость карбидной фазы, в хромоникелевом чугуне вокруг отпечатка присутствует зона пластической деформации, равная 14–23 % от его площади (рис. 1), которая может быть как однородной вокруг всего отпечатка (рис. 1, а), так и неоднородной – только с двух сторон отпечатка (рис. 1, б).

Следует отметить анизотропию геометрии отпечатка под действием различных нагрузок: при $P = 0,049$ Н и $0,098$ Н фиксируется выпуклый отпечаток (рис. 2, а, б), при $P = 0,196$ Н – отпечаток практически правильной ромбической формы (рис. 2, в), а при $P > 0,490$ Н – отпечаток вогнутый (рис. 2, г). Ошибка, которую вносит деформация сторон восстановленного отпечатка при минимальных и максимальных нагрузках, равна 9 и 15 % соответственно.

Деформация не одинакова по разным направлениям – наибольшая в середине сторон, а наименьшая – по углам отпечатка.

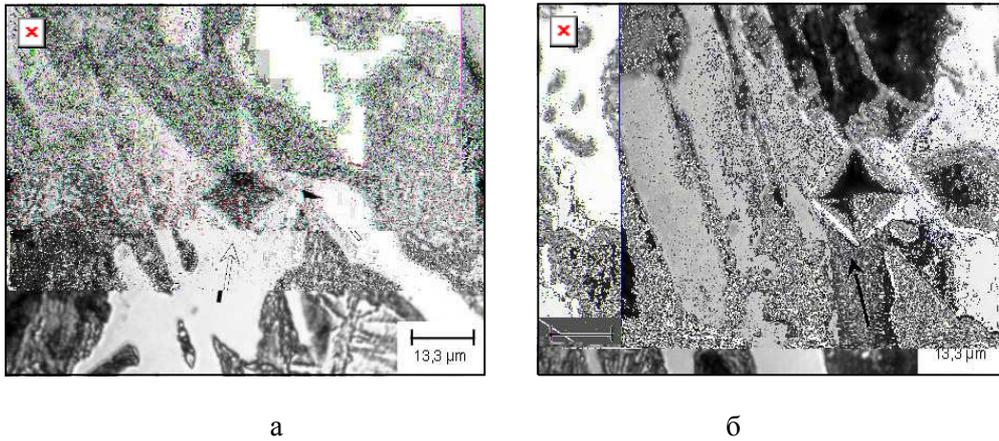


Рис. 1. Форма зоны пластической деформации цементита вокруг отпечатков под нагрузкой 1,962 Н. Стрелками указаны контуры однородной (а) и неоднородностей (б) зон пластической деформации

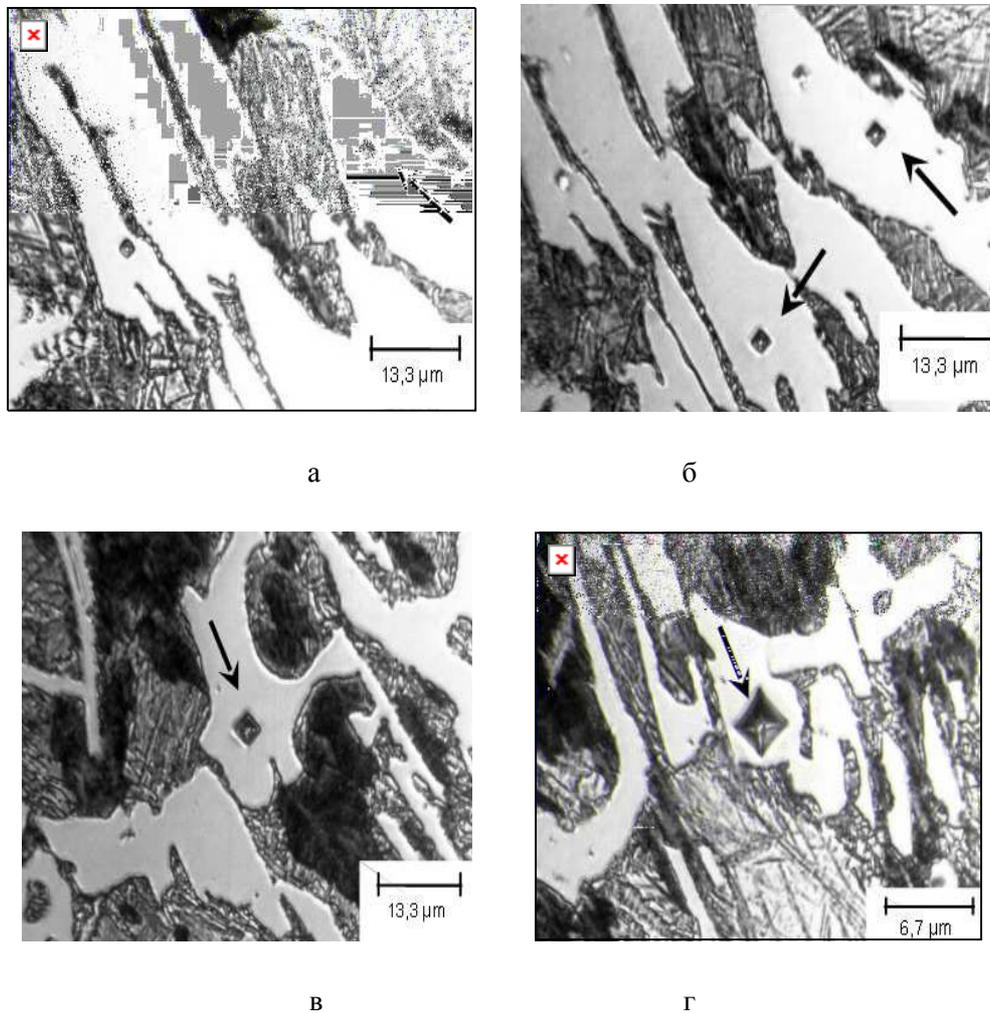


Рис. 2. Искажение формы отпечатка при нагрузках 0,049 Н (а), 0,098 Н (б), 0,196 Н (в) и 0,490 Н (г). Стрелками указаны выпуклые и вогнутые стороны отпечатка

При измерении микротвердости цементита часто фиксируются сколы и трещины под индентором (рис. 3).

Исследовали влияние расстояния между центрами отпечатков на уровень микротвердости (рис. 4).

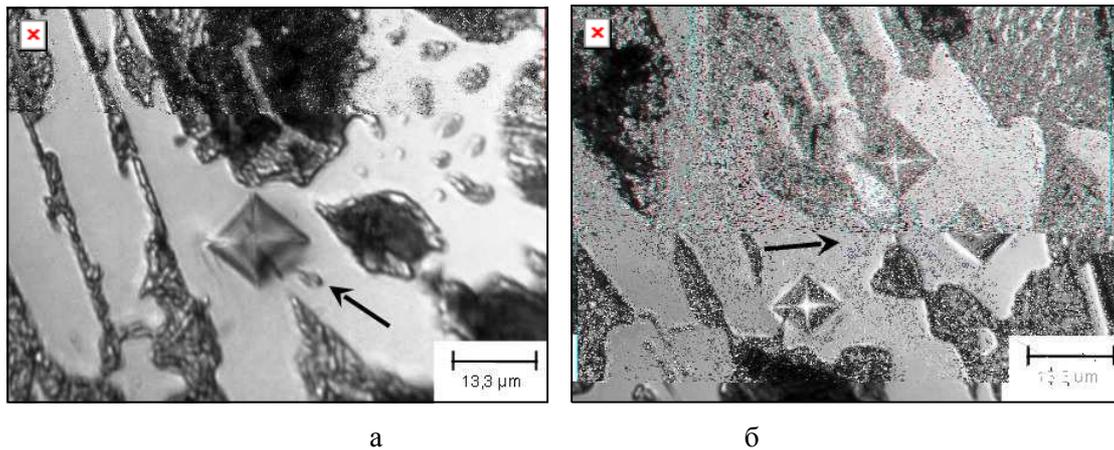


Рис. 3. Трещины у отпечатка (а), а также сколы и трещины (указаны стрелками) в карбидной фазе (б) при индентировании под нагрузкой: а – 1,962 Н; б – 0,49 Н

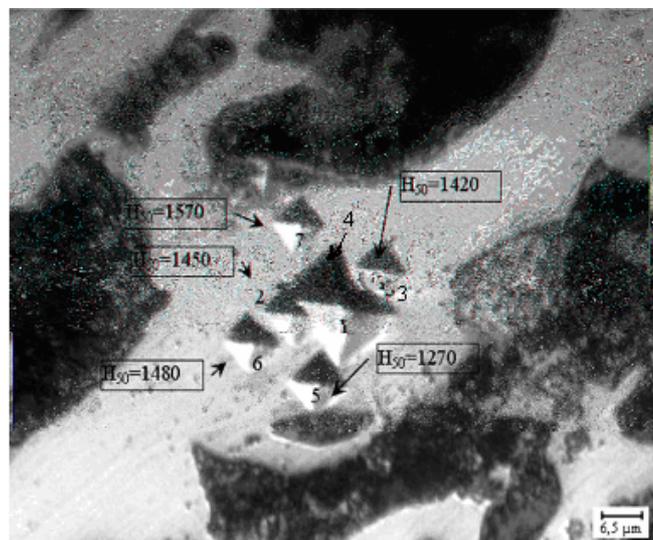


Рис. 4. Оценка влияния расстояния между отпечатками на уровень микротвердости. Порядок проведения измерений указан цифрами, где нагрузка соответствует: 1 – 1,962 Н, 2 – 0,49 Н

Выявлено, что зона пластической деформации цементита имеет заниженную твердость (табл. 1).

Таблица 1 Влияние расстояния от края отпечатка 1,962 Н на показатели микротвердости при 0,49 Н*

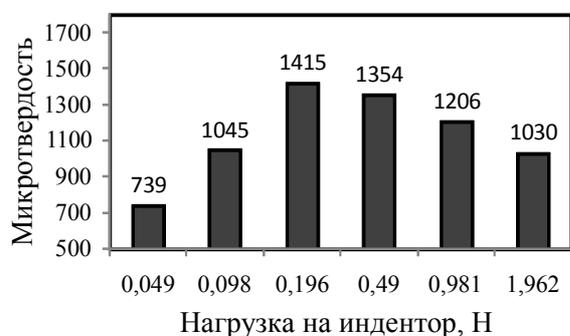
Расстояние от края отпечатка, мкм	Зона	H ₅₀
0,96	Пластической деформации	1390
1,93		1400
3,47	Основной металл	1470
5,8		1570
9,6		1480

Примечание. * В качестве исходной принята средняя величина твердости основного металла H₅₀=1480.

Протяженность этой зоны составила от 2 до 3 мкм (рис. 1). За ней начинается область основного недеформированного металла.

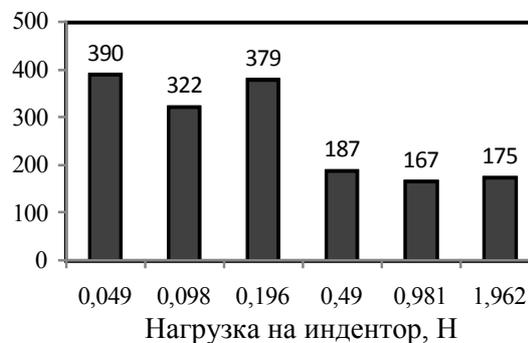
Главной особенностью индентирования карбидной фазы является необходимость подбора такой нагрузки, которая бы в меньшей степени способствовала появлению микротрещин и сколов. С точки зрения влияния формы стороны отпечатка, наиболее рациональным является использование нагрузок 0,196 Н и 0,49 Н. Измерения необходимо производить на расстоянии полутора диагоналей от угла соседнего отпечатка и двух диагоналей от его боковой грани.

Для оценки оптимального уровня нагрузки при определении микротвердости цемента выполнены специальные исследования. Оценивали значение микротвердости и ее стандартное отклонение, изменяя нагрузку в интервале 0,049 Н–1,962 Н (рис. 5).



а

Отмечено снижение уровня микротвердости при возрастании нагрузки на индентор от 0,49 Н до 1,962 Н. Для малых нагрузок зафиксировано уменьшение уровня микротвердости на 47 % при индентировании под нагрузкой 0,049 Н по сравнению с 0,196 Н.



б

Рис. 5. Средняя микротвердость цемента (а) и ее стандартное отклонение (б) для различной нагрузки

Таким образом, при измерении микротвердости цемента нагрузка 0,49 Н является достаточной для получения достоверных значений.

При данной нагрузке необходимо сделать 5–10 измерений длин диагоналей и произвести обработку результатов по формуле математической статистики с целью определения среднего значения микротвердости.

Хорошие результаты дает так называемая несмещенная оценка дисперсии или среднеквадратичное отклонение [5]

$$G^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_{\mu}^i - \overline{H_{\mu}})^2,$$

где n – число измерений; H_{μ}^i – результат отдельного измерения.

Точность определения микротвердости определяется по формуле

$$\Lambda = \frac{\alpha^2}{n} \cdot \left(\frac{G}{\overline{H_{\mu}}} \right)^2,$$

где α – параметр доверительного интервала, равный 1,65.

За счет увеличения числа измерений можно неограниченно уменьшать доверительный интервал. Однако систематическая ошибка при этом не снижается. Поэтому целесообразно брать n до 10, так как возрастающая трудоемкость эксперимента не оправдывается достигаемой точностью оценки.

Выводы

По результатам определения микротвердости цемента можно сделать следующие выводы:

1. Имеет место значительная пластическая деформация сторон отпечатка и минимальная – в его углах. Протяженность фронта пластической деформации сторон отпечатка в зависимости от нагрузки достигает 14–23 % от его площади.
2. Погрешность, вносимая деформацией сторон отпечатка в оценку твердости, составляет 9–15 % при минимальной и максимальной нагрузке соответственно.
3. Измерения твердости необходимо производить на расстоянии двух диагоналей от боковой грани и полутора диагоналей от угла соседнего отпечатка.

5. Нагрузка на индентор, обеспечивающая наибольшую точность измерений микротвердости цементита, составляет 0,49 Н.

6. Для получения стабильной и наиболее точной оценки микротвердости необходимо выполнить порядка 10 измерений.

Литература

1. *Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справ. : в 3 т. / Б.С. Бокштейн, Ю.Г. Векслер, Б.А. Дроздовский, Л.М. Капуткина. – Т. 2: Строение стали и чугуна. – М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 526 с.*
2. Григорович В.К. *Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.*
3. Влияние различных факторов на погрешности измерения микротвердости аустенитной структурной составляющей стали 12Х18Н10Т / В.И. Мощенок, Т.С. Скобло, И.В. Дошечкина и др. // *Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – 2009. – Вып. 43. – С.68–70.*
4. Влияние различных факторов на погрешности измерения микротвердости феррита армо-железа / В.И. Мощенок, Т.С. Скобло, И.В. Дошечкина и др. // *Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – 2010. – Вып. 51. – С.85–89.*
5. Локошко В.В. *Некоторые условия достоверности определения микротвердости покрытий износостойких хрупких фаз / В.В. Локошко, Е.Е. Кудрявцев. – М.: ЦНИИТавтоминформ, 1992. – 27 с.*

Рецензент: И.П. Гладкий, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2011 г.