

УДК 672.1.004.12

А.Н. Леоненко¹, Б.В. Савченков²

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ПЛАСТИЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

Аннотация: в статье рассмотрен вопрос возможности и целесообразности использования для деталей из специального легированного чугуна „Метода экспериментальной оценки пластичности поверхностных слоёв деталей машин”, который ранее применялся только для деталей из сталей и цветных сплавов.

термомеханическое упрочнение, закалка ТВЧ, поверхностный слой, твёрдость, пластичность, комплексный параметр механических свойств, ремонтное производство, экспресс-метод, деформация, износостойкость

Введение

Благоприятное сочетание таких механических свойств поверхностных слоёв материалов, как твёрдость и пластичность, существенно влияет на их износостойкость. В связи с этим изучению и контролю указанных характеристик уделяется значительное внимание [1]. Однако в условиях авторемонтных предприятий зачастую лабораторная база весьма ограничена для проведения всесторонних (полноценных) испытаний механических свойств материалов восстановленных деталей, что затрудняет прогнозирование их ресурса и существенно снижает контроль качества ремонта. Это обуславливает необходимость поиска и использования более совершенных методик по определению характеристик механических свойств, которые могут быть приемлемы для данных предприятий.

Анализ последних исследований и публикаций

Для оценки механических свойств поверхностных слоёв металлов наибольшее распространение получили методы измерения твёрдости, основанные на их упруго-пластическом деформировании (методы Бринелля, Роквелла, Виккерса, Людвика и т.д.) [2, 3]. Они позволяют осуществить сравнительно простую оценку уровня механических свойств, не

требуя для этого изготовления специальных образцов и не вызывая разрушения испытуемой детали [4, 5]. Эти методы наиболее приемлемы для исследования поверхностных слоёв материалов, находящихся в упрочнённом состоянии, внедрение в которые можно производить лишь коническим или пирамидоидальным индентором.

Вместе с тем, в практике машиностроительного материаловедения ряд задач не может быть решён применением традиционных методов. В частности, такими задачами являются исследования влияния на механические характеристики материалов режимов термомеханической обработки. Во многих таких случаях твёрдость, являясь структурно нечувствительной характеристикой, остаётся на одном уровне или изменяется незначительно, однако имеет место существенное повышение пластичности [6].

Известен ряд работ, в том числе [5], авторами которой разработаны методики определения отдельных характеристик механических свойств экспресс-методом, которые нашли применение в ремонтном производстве и позволили обеспечить высокий уровень восстановления деталей. Однако некоторые из них содержат ряд условий и ограничений, которые касаются способов упрочнения поверхностей материалов деталей.

Цель и постановка задачи

В работах [7, 8], целью которых являлось повышение качества гильз цилиндров термомеханическим упрочнением для совершенствования технологии ремонта автомобильных двигателей ЯМЗ и КамАЗ, кроме исследования изменений твёрдости специального легированного чугуна, также было рассмотрено изменение пластичности его упрочнённого поверхностного слоя после термомеханической обработки.

Для достижения поставленной цели одной из задач было: предложить для оценки износостойкости комплексный параметр, учитывающий механические свойства поверхностного слоя материала гильз цилиндров, который может быть использован при ремонтных работах для прогнозирования ресурса деталей экспресс-методом.

Теоретические предпосылки проведения исследования

В качестве базового метода был принят „Метод экспериментальной оценки пластичности поверхностных слоёв деталей машин” [4], который позволяет неразрушающим способом определить относительное удлинение при растяжении (характеристику пластичности) поверхностных слоёв металлов. Кроме этого, данный метод может быть использован для оценки прочностных свойств и износостойкости деталей машин при абразивном изнашивании.

Результаты работы [4] неоднократно опробованы при необходимости установить зависимость интенсивности изнашивания ряда материалов (главным образом, сталей различного состава и цветных сплавов) с комплексным параметром деформационно-прочностных свойств, выраженного произведением $HK \times \delta_{5B}^u$, где HK – твёрдость материала по Людвику, МПа; δ_{5B}^u – параметр пластичности (относительного удлинения) материала; u – показатель степени.

Данный способ предусматривает определение характеристики пластичности на основании измерений параметра твёрдости HRC согласно требованиям ДСТУ 3869-99 (ISO 6508-86) [9]. При внедрении жёсткого индентора в твёрдое сплошное полупространство, обладающее пластичностью, вокруг пластического отпечатка образуется наплыв вытесненного материала (вследствие ограниченной способности последнего к течению).

Метод предусматривает следующие положения:

1) испытываемый материал является сплошной изотропной упруго-пластичной средой;

2) зона пластической деформации r (наплыва) вокруг восстановленного (при снятой нагрузке) отпечатка индентора на твёрдом теле пропорциональна величине пластичности материала и должна иметь относительно правильную геометрическую форму с ровными краями отпечатка (разность измерений диаметров одного отпечатка не должна быть более 0,02 от меньшего из них).

Распределение объёма материала в зоне наплыва зависит от механических характеристик деформируемой среды и, прежде всего, её способности пластически деформироваться не разрушаясь. При этом равные вытесненные объёмы материалов, обладающих различной способностью к пластической деформации, распределяются в зоне наплыва по-разному, например, как схематично изображено на рис. 1.

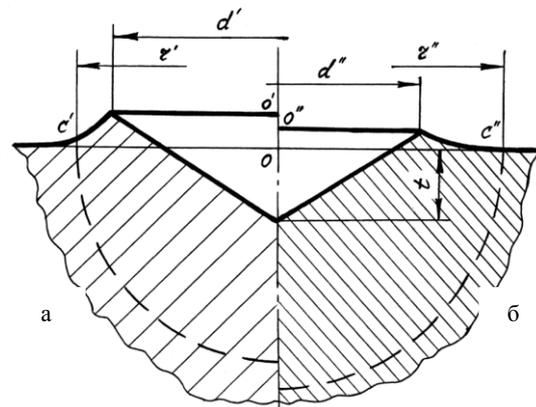


Рис. 1. Распространение деформаций и профиль отпечатка при вдавливании конического индентора в металл с низкой (а) и высокой (б) пластичностью

Установлено, что при постоянной (одинаковой) глубине восстановленного отпечатка t от внедрения прямого симметричного конического индентора у среды с большей пластичностью диаметр отпечатка d по вершине наплыва должен быть меньше (правая часть рисунка), чем у среды с меньшей пластичностью, что и является особенностью данного метода определения пластичности, поскольку её величина, таким образом, является функцией не одного (как это имеет место при других способах определения пластичности внедрением индентора), а двух относительно независимых друг от друга параметров пластического отпечатка (t и d), по значениям которых оценивают относительное удлинение при растяжении поверхностных слоёв металлов.

Применение в комплексном параметре характеристики твёрдости материалов HK позволяет использовать её во всём диапазоне: как сталей с твёрдостью от 100 до 450 HB, так и более твёрдых, для которых предпочтительнее определять твёрдость по шкале HRC. Кроме того, целесообразность её использования представляется и с той точки зрения, что при этом приобретает физический смысл произведение $HK \times \delta_{5B}^u$, обладающее размерностью „работа - объём”. Такую размерность имеет удельная работа, которая, например, в случае испытаний образцов на растяжение характеризует способность поглощать энергию при пластическом деформировании.

Таким образом, параметр t/d может являться характеристикой, пропорциональной пластичности сплошной изотропной среды, а также использоваться при изучении и контроле качества структурных изменений и, следовательно, механических свойств,

происходящих в металлах и сплавах под влиянием термической и термомеханической обработок.

Однако, как указывают авторы работ [4, 5], данный метод не эффективен для чугунов вследствие их достаточно высокой хрупкости и малой пластичности.

Результаты исследования

Выбор указанного метода для проведения исследований базировался на следующих условиях. Во-первых, метод основан на измерении твёрдости по Роквеллу [9], которая выступает в качестве регламентируемой характеристики механических свойств материала гильз цилиндров двигателей ЯМЗ и КамАЗ при их изготовлении и ремонте. Во-вторых, используемый для этих деталей чугун легируется рядом химических элементов (0,25-0,5% Cr, 0,25-0,4% Cu, 0,15-0,4% Ni, $\leq 0,08\%$ Ti). Последнее, в сочетании с особенностями благоприятных структурных изменений в результате термомеханической обработки материалов, которые близки по „при-

роде” и химическому составу, позволяло прогнозировать величину изменения пластичности исследуемого материала после его термомеханического упрочнения.

Учитывая вышесказанное, впервые для деталей из специального легированного чугуна был опробован данный метод. В работах [7, 8] характеристику пластичности для чугуна, закалённого ТВЧ, и чугуна, упрочненного термомеханической обработкой, было принято именовать как ”параметр пластичности”, что, на наш взгляд, более корректно по отношению к чугунам.

На рис. 2 и 3 представлены отпечатки индентора на рабочих поверхностях образцов, подвергнутых термомеханическому упрочнению, и образцов после промышленной закалки ТВЧ. Характер отпечатков (достаточно чёткое их очертание) свидетельствует о допустимости и приемлемости использования данного метода для исследуемого материала при указанных способах упрочнения.

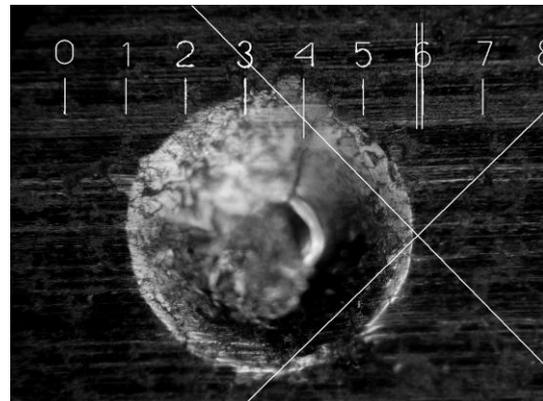
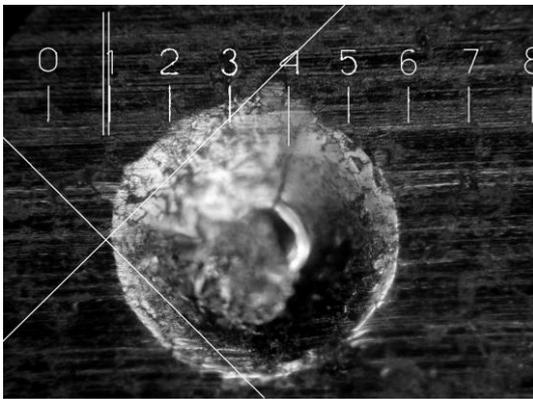


Рис. 2. Характер отпечатков на образцах, подвергнутых термомеханическому упрочнению: $T_{\text{деф}} = 870^{\circ}\text{C}$, $\lambda = 17\%$, $T_{\text{отп}} = 200^{\circ}\text{C}$ ($\times 130$, в обратном свете)

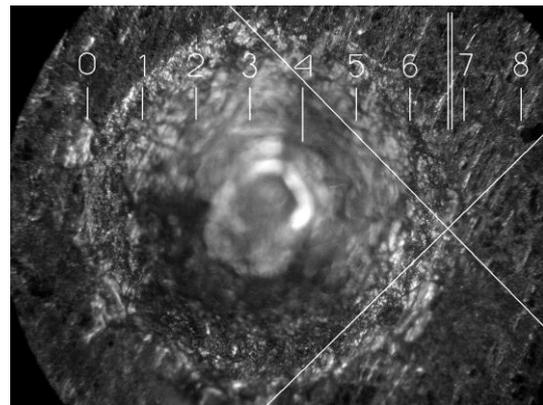
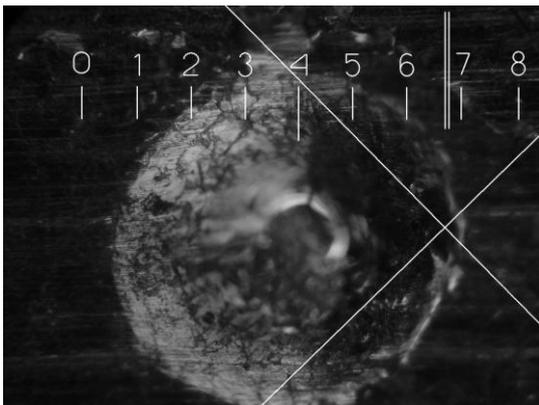


Рис. 3. Характер отпечатков на образцах, упрочнённых промышленной закалкой ТВЧ ($\times 130$, в обратном свете)

Проведенные измерения и расчёты были выполнены согласно соответствующим методикам [4, 5, 9].

Результаты исследования механических свойств поверхностного слоя специального легированного чугуна, подвергнутого термомеханическому упрочнению, позволили установить, что особенности этого вида технологического воздействия имеют положи-

тельное влияние на структуру и механические свойства исследуемого материала аналогично влиянию на другие материалы, а именно: при примерно одинаковой твёрдости (одного порядка: в пределах 42 – 50 HRC в соответствии с техническими условиями на изготовление гильз двигателей ЯМЗ и КамАЗ) для всех вариантов термомеханического упрочнения на-

блюдалось существенное повышение (до 2,0 – 3,5 раза) параметра пластичности по сравнению с образцами из промышленных гильз, закалённых ТВЧ.

Эти результаты полностью согласуются с данными, приведенными в работах [1, 6], и положением о том, что твёрдость не может служить единственным критерием износостойкости различных материалов. Подтверждением тому – разная величина износостойкости, соответствующая одинаковой твёрдости материала образцов. Кроме того, по полученным результатам измерений не удалось построить какую-то обобщающую графическую зависимость, которая отражала бы связь износостойкости материала с твёрдостью HRC. Вместе с тем, изменение параметра пластичности исследуемого чугуна после его термомеханического упрочнения подтверждает влияние получаемых механических свойств материала на его износостойкость (образцы из промышленных гильз, закалённых ТВЧ, имели износостойкость, определённую при равнозначных условиях испытаний, ниже на 8-22 %). При этом наибольшей износостойкостью обладал материал, имеющий наибольшее значение комплексного параметра $HK \times \delta_{5B}^u$.

Выводы

Таким образом, „Метод экспериментальной оценки пластичности поверхностных слоёв деталей машин” может быть применён при оценке влияния термомеханической обработки на механические характеристики специального легированного чугуна, в частности, для определения уровня качества изготовления и ремонта гильз цилиндров двигателей ЯМЗ и КамАЗ после их упрочнения. Кроме того, с помощью комплексного параметра деформационно-прочностных характеристик материала ($HK \times \delta_{5B}^u$) можно прогнозировать ресурс восстановленных де-

талей из этого материала, используя экспресс-метод, что весьма актуально для ремонтного производства.

Список литературы

1. Цыбульский В.А., Савченков Б.В., Дудукалов Ю.В. К выбору критерия износостойкости при испытаниях материалов на трение и изнашивание // Вестник ХГАДТУ. – Х.: ХГАДТУ, 2000. – № 12-13. – С.79-81.
2. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / Сост. В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Э.Д. Браун и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 264 с.
3. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. В 2-х частях. Ч. 1. Деформация и разрушение. – М.: Машиностроение, 1974. – 472 с.
4. Южаков И.В., Ямпольский Г.Я., Калугин Ю.К. Метод определения пластичности поверхностных слоёв материалов // Всесоюз. конф. “Стандартизация и унификация средств и методов испытаний на трение и износостойкость”. – М.: ВСНТО, 1975. – Сб. 3. – С. 120-124.
5. Дюмин И.Е., Калугин Ю.К., Ямпольский Г.Я. Оперативный контроль механических свойств деталей и заготовок. – К.: Техника, 1991. – 102 с.
6. Сорокин Г.М. Аспекты металловедения в проблеме долговечности машин // МиТОМ. – 1990. – № 2. – С. 57-60.
7. Леоненко А.Н. Изменение износостойкости деталей из чугуна после упрочнения высокотемпературной термомеханической обработкой // Вестник НТУ “ХПИ”. – Х.: НТУ “ХПИ”. – 2004. – № 24. – С. 41-48.
8. Савченков Б.В., Леоненко А.Н. Исследование стабильности механических свойств специального легированного чугуна после его упрочнения ВТМО // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ. – 2004. – № 14. – С. 44-47.
9. ДСТУ 3869-99. Державна повірочна схема для засобів вимірювань твердості за шкалами Роквелла і супер-Роквелла. – Чин. 01.01.2000. – К.: Метрологія, 1999. – 10 с.

Поступила в редколлегию 22.11.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Полянский, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков.