

УДК 620.178.1

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ Сандомирский С.Г., Валько А.Л., Руденко С.П.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Высоконагруженные детали машин изготавливают из сталей, подвергаемых поверхностному упрочнению – цементации и закалке. Важным параметром упрочненного слоя является его эффективная толщина h_{ef} – расстояние от поверхности изделия до зоны с твердостью $50HRC$. Достоверность определения h_{ef} снижают полосчатость металла и погрешность измерения твердости. В докладе для определения h_{ef} использованы результаты измерения твердости $HV0,5$ в расширенном диапазоне анализируемой зоны, которые были пересчитаны в значения твердости HRC по формуле, рекомендованной стандартом. Распределение твердости HRC в области измерения аппроксимированы полиномом второй степени, использованным для определения h_{ef} . Показано, что метод исключает влияние полосчатости металла и погрешности измерений твердости на результат определения h_{ef} .

Ключевые слова: упрочнение, цементация, твердость, эффективная толщина упрочненного слоя.

METHOD FOR DETERMINING THE EFFECTIVE THICKNESS OF THE HARDENED LAYER Sandomirski S., Val'ko A., Rudenko S.

Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Highly loaded machine parts are made of steels subjected to surface hardening – carburizing and hardening. An important parameter of the hardened layer is its effective thickness h_{ef} – the distance from the product surface to the zone with hardness $50HRC$. The reliability of h_{ef} determination is reduced by metal banding and hardness measurement error. In the report, the results of $HV0,5$ hardness measurements in the extended range of the analyzed zone were used to determine h_{ef} and converted to HRC hardness values using the formula recommended by the standard. The HRC hardness distributions in the measurement area were approximated by the second degree polynomial used to determine h_{ef} . It is shown that the method excludes the influence of metal banding and hardness measurement error on the result of h_{ef} determination.

Keywords: hardening, cementing, hardness, effective thickness of the hardened layer.

Адрес для переписки: Сандомирский С.Г., ул. Академическая, 12, г. Минск, 220012, Республика Беларусь
e-mail: sand_work@mail.ru

Для длительной и надежной эксплуатации мобильных машин важна твердость в зоне действия максимальных глубинных контактных напряжений, возникающих на некотором расстоянии от поверхности зубчатых колес [1]. Цементация (насыщение поверхностного слоя стали углеродом) с последующей закалкой – основной метод упрочнения стали на необходимую глубину, который формирует в стали поверхностный слой с концентрацией углерода, убывающей от поверхности к сердцевине детали [2]. При закалке цементированных изделий в поверхностном слое образуется высокоуглеродистый мартенсит с высокой твердостью и износостойкостью, а в сердцевине изделия сохраняется низкая твердость и высокая вязкость (рисунок 1). Для обеспечения требуемого ресурса зубчатых колес регламентируют поверхностную твердость и эффективную толщину h_{ef} цементированного слоя [3]. За h_{ef} после закалки принимают расстояние от поверхности до зоны слоя с твердостью $50HRC$ [3; 4]. Для определения h_{ef} используют результаты измерений распределения твердости $HV0,5$ на шлифах по глубине h цементированного слоя образцов.

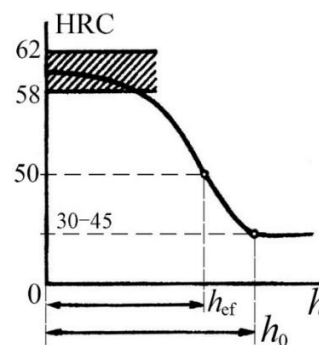


Рисунок 1 – Схема изменения твердости HRC в цементированной стали от расстояния h до поверхности насыщения углеродом; h_{ef} и h_0 – эффективная и полная толщина слоя

Но точность такого определения h_{ef} недостаточна из-за погрешности измерений $HV0,5$ и наличия в области измерений полосчатой структуры. Повышение количества измерений твердости в указанной зоне, рекомендованное стандартной методикой [4], не повышает достоверность определения h_{ef} .

В докладе разработан метод повышения достоверности определения h_{ef} упрочненного слоя в стали после цементации и закалки.

Использовали то, что увеличение диапазона изменения величины при постоянной погрешности измерения приводит к увеличению коэффициента корреляции между результатами измерения и истинными значениями величины [5]. Поэтому аппроксимация изменения твердости HRC от расстояния h до поверхности позволит получить более достоверную зависимость $HRC(h)$ при проведении измерений в более широком диапазоне изменения h .

Повышение достоверности определения h_{ef} при использовании такого подхода в [6] показано на образце из стали 18ХГТ, подвергнутом цементации и закалке по режимам, регламентированном производством зубчатых колес силовых передач [3]. Распределение микротвердости $HV0,5$ по глубине цементированного слоя образца измеряли на шлифе при нагрузке 4,9 Н. Измеренные значения микротвердости $HV 0,5$ были пересчитаны в единицы твердости HV (при нагрузке 30 кг) и в значения твердости HRC по формуле, рекомендованной международным стандартом.

Результаты пересчета измеренных значений микротвердости $HV0,5$ в значения твердости HRC в практически важном для определения h_{ef} диапазоне изменения значений твердости HRC модельного образца приведены на рисунке 2. Отметим, что результаты определения значений HRC образца при заданной величине h могут существенно отличаться для двух независимых измерений (рисунок 2, а и б).

Полученные зависимости $HRC(h)$ были аппроксимированы полиномами:

$$HRC = 12,662 \cdot h^2 - 59,55 \cdot h + 117,46, \quad (1)$$

$$HRC = 13,052 \cdot h^2 - 60,597 \cdot h + 118,01. \quad (2)$$

По [4] (рисунок 1), значению h_{ef} стали после закалки соответствует значение 50 HRC . На основании (1) и (2), для определения h_{ef} образца были получены квадратные уравнения:

$$h_{ef}^2 - 4,703 \cdot h_{ef} + 5,3278 = 0, \quad (3)$$

$$h_{ef}^2 - 4,6427 \cdot h_{ef} + 5,2107 = 0. \quad (4)$$

Результаты решения уравнений (3) и (4) составили: $h_{ef} = 1,902$ мм и $h_{ef} = 1,899$ мм. Они отлича-

ются друг от друга на 0,003 мм, что меньше допустимой по [4] погрешности 0,02 мм определения h_{ef} . При этом полосчатость образца и погрешность каждого измерения твердости никуда не делись. Но, благодаря примененному методу, эти погрешности практически не влияют на определение h_{ef} .

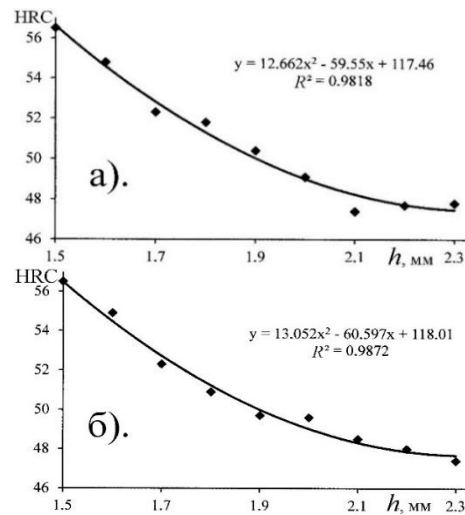


Рисунок 2 – Результаты двух измерений (а, б) распределения твердости HRC по толщине h цементированного слоя образца после закалки

Литература

1. Руденко, С.П. Применение перспективных экономно-легированных марок сталей для зубчатых колес мобильных машин / С.П. Руденко, А.Л. Валько, С.Г. Сандомирский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 4. – С. 61–69.
2. Сусин, А.А. Химико-термическое упрочнение высоконапряженных деталей / А.А. Сусин. – Минск : Белорусская наука, 1999. – 175 с.
3. Руденко, С.П. Сопротивление контактной усталости цементованных зубчатых колес из хромоникелевых сталей / С.П. Руденко, А.Л. Валько // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2017. – № 1. – С. 58–62.
4. Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины : СТБ 2307-2013. – Минск : Госстандарт, 2013. – 16 с.
5. Сандомирский, С.Г. Влияние точности измерения и диапазона изменения физической величины на коэффициент корреляции / С.Г. Сандомирский // Измерительная техника. – 2014. – № 10. – С.13–17.
6. Sandomirski, S.G. Methodology for Determining the Effective Thickness of the Cemented Layer of Steel / S.G. Sandomirski, A.L. Val'ko, S.P. Rudenko // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 145–151.