

УДК 620.178.1

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ
ЦЕМЕНТИРОВАННОГО СЛОЯ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, А. Л. ВАЛЬКО, С. П. РУДЕНКО
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Высоконагруженные детали трансмиссий изготавливают из сталей, подвергаемых цементации и последующей закалке. Важным параметром упрочненного цементированного слоя является его эффективная толщина $h_{эф}$, обеспечивающая, наряду с величиной твердости слоя, работоспособность деталей. За величину $h_{эф}$ принимают расстояние h от поверхности изделия до зоны с твердостью 50 HRC [1]. Большое влияние на точность определения $h_{эф}$ оказывают полосчатость металла в области измерения твердости и инструментальная погрешность ее измерений, которые, согласно [1], проводят в узком диапазоне изменения h в ближайшей окрестности расстояния $h_{эф}$.

Обоснована методика повышения точности определения эффективной толщины упрочненного слоя в стали после цементации и закалки.

В [2] показано, что ограничения достижимого значения R_{max} коэффициента корреляции между результатами измерения и истинными значениями физической величины определяются не только относительной погрешностью δ ее измерения, но и относительным диапазоном d ее изменения. Для решения поставленной задачи воспользовались тем, что увеличение d при постоянной δ приводит к увеличению достижимого коэффициента R_{max} корреляции между результатами измерения и истинными значениями физической величины [2]. Поэтому получение физически верной аппроксимации изменения значений измеряемой физической величины (в рассматриваемом случае – твердости HRC) от изменяющегося параметра (расстояния h от поверхности) позволит получить более точные результаты аппроксимации зависимости HRC(h) при проведении измерения в более широком интервале изменения параметра h . На основе полученной аппроксимации (при условии физически верного отражения ею характера изменения исследуемой зависимости) будет получено более точное значение параметра h , при котором измеряемая величина равна заданному значению HRC. Показано, что увеличение параметра d в 3 раза (с 0,2 до 0,6) на порядок снижает разницу $(1 - R_{max})$: с 0,092 до 0,0078, т. е. радикально повышает точность аппроксимации искомой зависимости (коэффициент R^2 «достоверности аппроксимации» (квадрат коэффициента R корреляции) увеличивается с 0,824 до 0,984).

Эффективность методики проиллюстрирована на образце из стали 18ХГТ после его цементации и закалки по режимам, регламентированным производством зубчатых колес силовых передач. Результаты определения твердости HRC в практически важном для определения $h_{эф}$ цементированного слоя диапазоне изменения h исследованного образца приведены на рис. 1.

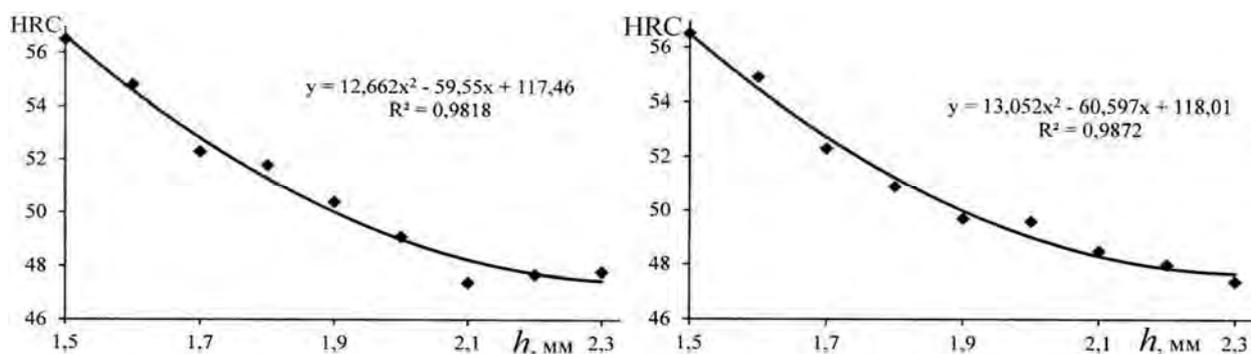


Рис. 1. Результаты двух независимых измерений распределения твердости HRC по толщине h цементированного слоя закаленного экспериментального образца в ближайшей и удаленной окрестности области $h_{эф}$ и интерполирующие их аналитические зависимости

Обратим внимание на то, что результаты определения значений HRC исследованного образца при заданной величине h могут существенно отличаться для двух независимых измерений. Полученные на рис. 1 зависимости $HRC(h)$ были интерполированы (см. рис. 1), соответственно, полиномами второй степени:

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

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

Согласно [1] значению эффективной толщины $h_{эф}$ цементированного слоя стали после закалки соответствует значение 50 HRC. В соответствии с этим, на основании зависимостей (1) и (2), для определения $h_{эф}$ образца были получены следующие приведенные квадратные уравнения:

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

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

Результаты решения уравнений (3) и (4) составили соответственно $h_{эф} = 1,902$ мм и $h_{эф} = 1,899$ мм. Они отличаются друг от друга на 0,003 мм, что существенно меньше допустимой, в соответствии с [1], погрешности 0,02 мм определения $h_{эф}$. При этом неизбежные полосчатость образца и погрешность каждого измерения твердости образца никуда не делись. Вызванная ими погрешность измерения твердости имеет место при каждом измерении (см. рис. 1). Но благодаря примененной методике определения $h_{эф}$ по результату измерения твердости в расширенной окрестности области $h_{эф}$, аппроксимации полученной зависимости полиномом второй степени, отражающим характер изменения твердости цементированной стали от расстояния до ее поверхности в этой области, и последующего решения полученного с ее использованием квадратного уравнения, эти погрешности практически не влияют на результат определения $h_{эф}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 2307–2013.** Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины. – Минск: Госстандарт, 2013. – 16 с.
2. **Сандомирский, С. Г.** Влияние точности измерения и диапазона изменения физической величины на коэффициент корреляции / С. Г. Сандомирский // Измерительная техника. – 2014. – № 10. – С. 13–17.