

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

© 2022 г. Сергей Григорьевич Сандомирский^{1*}

¹ – Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Академическая, 12
* - sand_work@mail.ru

Все механические свойства (временное сопротивление σ_B , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное сужение ψ , твердость по шкалам HRC и HB) важны для расчета эксплуатационных параметров стальных изделий. Но в литературе для многих сталей приведен не весь комплекс характеристик. Поэтому важно установить взаимосвязь между механическими свойствами сталей заданного класса.

Цель доклада – обобщение исследований по аналитическому описанию взаимосвязей механических свойств часто используемых в машиностроении сталей. Расширение на этой основе возможностей их неразрушающего магнитного контроля.

В [1] показано, что контроль комплекса механических параметров стали по результату измерения их магнитных свойств возможен, если между физико-механическими свойствами имеются тесные корреляционные связи. Для примера на рис. 1 приведены зависимости механических свойств и твердости широко используемой стали 40X и ее основных магнитных параметров от температуры T_0 отпуска.

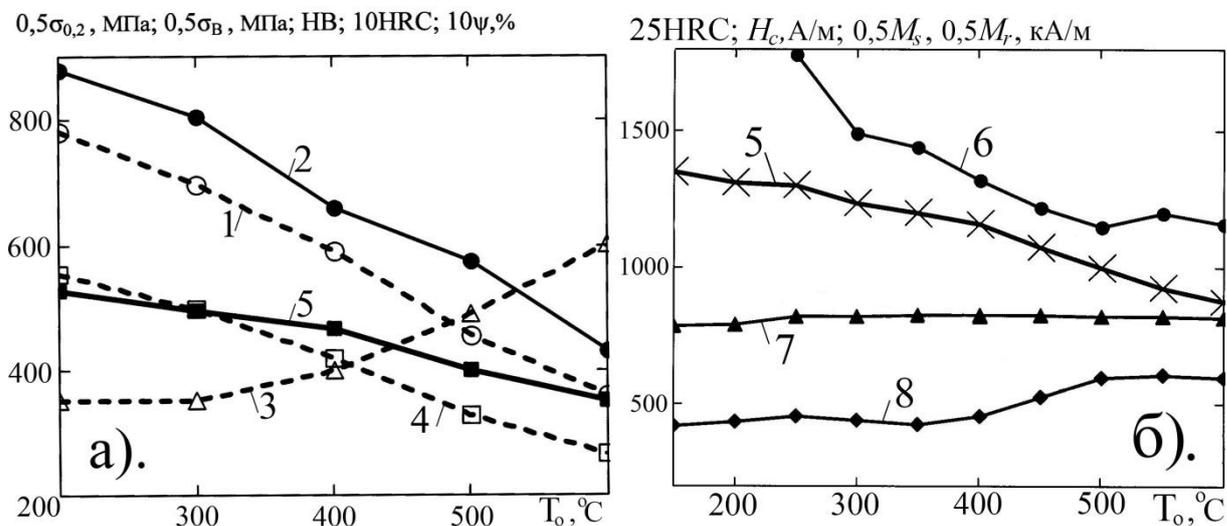


Рисунок – Зависимость механических (а) и магнитных (б) свойств (1 – $\sigma_{0,2}$, 2 – σ_B , 3 – ψ , 4 – твердость HB; 5 – твердость HRC, 6 – коэрцитивная сила H_c , 7 – намагниченность M_s технического насыщения, 8 – остаточная намагниченность M_r) стали 40X от температуры T_0 отпуска после закалки

Анализ зависимостей рисунка а). показал, что все механические свойства и твердость стали 40X с увеличением T_0 изменяются монотонно. Это подтверждает наличие тесных корреляционных связей между механическими свойствами и твердостью стали 40X. В подтверждение этого в таблице приведены уравнения регрессии для расчета σ_B ,

$\sigma_{0,2}$, Ψ , HRC и HB стали 40X по любому из этих параметров для всех возможных их комбинаций. В таблице также приведены квадраты коэффициентов R корреляции (достоверности аппроксимаций R^2) и значения $\bar{\delta}$ модулей относительного отклонения результатов расчета параметров $\sigma_{0,2}$, σ_B , Ψ , HB и HRC) от их значений на рис.1.

Таблица – Линейные уравнения регрессии корреляционных взаимосвязей между физико-механическими свойствами стали 40X

$x =$	HRC	HB	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	Ψ (%)
HRC =	x	$0,0597x + 20,1$ $R^2 = 0,9817$	$0,0207x + 20,9$ $R^2 = 0,9873$	$0,0195x + 18,5$ $R^2 = 0,9692$	$-0,653x + 73,5$ $R^2 = 0,9604$
HB =	$16,45x - 323,6$ $\bar{\delta} = 1,74\%$	x	$0,346x + 13,6$ $R^2 = 0,9992$	$0,327x + 26,64$ $R^2 = 0,9885$	$-10,54x + 873,3$ $R^2 = 0,9100$
$\sigma_{0,2}$ (МПа)=	$47,73x - 981,4$ $\bar{\delta} = 2,81\%$	$2,892x - 38,5$ $\bar{\delta} = 0,75\%$	x	$0,946x + 115,8$ $R^2 = 0,9851$	$-30,62x + 2493$ $R^2 = 0,9170$
σ_B (МПа) =	$49,6x - 877,4$ $\bar{\delta} = 3,22\%$	$3,013x + 99,7$ $\bar{\delta} = 2,78\%$	$1,041x + 140,5$ $\bar{\delta} = 3,17\%$	x	$-32,17x + 2749$ $R^2 = 0,9199$
Ψ (%) =	$-1,472x + 109,6$ $\bar{\delta} = 4,49\%$	$-0,0863x + 79,3$ $\bar{\delta} = 6,39\%$	$-0,0229x + 78,3$ $\bar{\delta} = 7,32\%$	$-0,0286x + 82,1$ $\bar{\delta} = 5,23\%$	x

Высокие значения R^2 ($0,91 \leq R^2 \leq 0,999$) приведенных в таблице линейных уравнений регрессии и малые $\bar{\delta}$ ($0,75\% \leq \bar{\delta} \leq 6,39\%$) (близкие по величине к погрешностей измерения механических свойств) показали, что результаты измерения каждого из физико-механических свойств могут быть использованы для определения (по крайней мере – весьма точной оценки) остальных физико-механических свойств стали 40X. Следовательно, для неразрушающего контроля механических свойств стали 40X достаточно разработать достоверный метод контроля ее твердости. Но магнитные свойства стали 40X в практически важном интервале температур отпуска изменяются не монотонно, не значительно или не могут быть измерены точно (рис. б). В рамках разработанного подхода [3] для решения поставленной задачи эффективно использован параметр $H_{c1} = H_c(1 - K_{II})^2$, где $K_{II} = M_r/M_s$, обеспечивший коэффициент корреляции $R = 0,977$ и среднее квадратичное отклонение $\bar{\sigma} \approx 1$ ед. HRC между результатами неразрушающего определения и измерения твердости HRC стали 40X в практически важном интервале ее изменения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сандомирский С.Г. Статистический анализ и использование взаимосвязей между физико-механическими свойствами сталей и чугунов. Мн.: Беларуская навука, 2021. 144 с.
2. Сандомирский С.Г. Корреляционные зависимости между механическими свойствами и магнитным параметром стали 40X // Механика машин, механизмов и материалов. 2019. № 3 (48). С. 43–50.
3. Клюев В.В., Сандомирский С.Г. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей. М.: Издательский дом «СПЕКТР», 2017. – 248 с.