

ские и технические вопросы, связанные с поддержкой ядра контроллера, всех типов его аппаратных модулей, библиотек, стеков и конфигураторов сетей его беспокоить не должны. Все это должно быть решено за него разработчиками ПЛК и Codesys совместно.

Типовые области применения Codesys Automation Platform: расширение функциональности Codesys за счет возможности добавления в среду программирования нового редактора программ, инструмента конфигурирования специализированной полевой сети, автоматизация некоторых типовых операций (мастера) и др.; замена составных компонентов (plug-in) Codesys (рисунок 1), если штатный компонент среды программирования не удовлетворяет требованиям пользователей, то возможно заменить его, например, изменить форму отображения программ, вид окон и др.; создание собственного программного комплекса на базе Codesys, например системы SoMachine от Schneider Electric и TwinCAT 3 от Beckhoff.

Как правило, крупные производители микроконтроллеров выпускают программные средства для управления ими и программирования. Пакет программ RMCTools представляет собой мощный набор средства для конфигурирования, настройки, программирования и управления всеми возможностями контроллеров перемещений RMC70 и

RMC150, производимых Delta Computer Systems (США). Взаимодействие с контроллером возможно через USB, Ethernet и RS-232.

Основные возможности программы: наблюдение и регистрация значений регистров всех осей координат, а также возможность их изменения; трассирование всех значений регистров (до 16 на одной диаграмме) с минимальным разрешением, соответствующим управляющему циклу; журнал изменения параметров, отправляемых команд, ошибок и всех передаваемых сообщений; создание пользовательских программ; графические инструменты для создания произвольных профилей движения; изменение параметров и пользовательской программы во время выполнения (отладка); математические функции для гибкого программирования и продвинутого управления мишенным циклом.

Литература

1. Chen, Y. C. Solving robot trajectory planning problems with uniform cubic B splines / Y. C. Chen // Optimal Control Applications and Methods. – 1991. – Vol. 12, № 4. – P. 247–262.
2. Dainiak, I. Forming of Precision Program Motion in Coordinate System / I. Dainiak // Proc. of 54th Int. Scientific Colloquium, Ilmenau (Germany), September 7–10, 2009 / Technical University of Ilmenau. – P. 105–106.
3. Jorn Linke. Der SPS-Benchmark: Das Ergebnis. Computer Automation. 2011. 9.

УДК 620.179.14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В АЛГОРИТМЕ СВЯЗИ МЕЖДУ МАГНИТНЫМ ПАРАМЕТРОМ И ТВЕРДОСТЬЮ СТАЛИ

Сандомирский С.Г.

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

Аннотация. Для повышения достоверности интерполяции аналитической функцией экспериментально установленной зависимости между магнитным параметром и твердостью стали в разрабатываемой зависимости предложено использовать логическую функцию «если». Это позволило использовать разные функциональные зависимости между магнитным параметром и твердостью стали в зависимости от измеренной величины магнитного параметра. Эффективность такого подхода для магнитного структурного анализа проиллюстрирована его использованием для построения функциональной зависимости твердости HRC стали 30 от ее магнитного параметра.

Ключевые слова: магнитный структурный анализ, статистическая зависимость, интерполяция.

USING A LOGICAL FUNCTION IN THE ALGORITHM OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MAGNETIC PARAMETER AND THE HARDNESS OF STEEL

Sandomirski S.

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

Abstract. To increase the reliability of interpolation by the analytical function of the experimentally established dependence between the magnetic parameter and the hardness of steel in the developed dependence, it was proposed to use the logical function "if". This allowed the use of different functional dependences between the magnetic parameter and steel hardness, depending on the measured value of the magnetic parameter. The effectiveness of such an approach for magnetic structural analysis is illustrated by its use to construct a functional dependence of the HRC hardness of steel 30 on its magnetic parameter.

Key words: magnetic structural analysis, statistical dependence, interpolation.

*Адрес для переписки: Сандомирский С.Г., ул. Академическая, 12, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: sand_work@mail.ru*

Магнитными параметрами сталей, чувствительными к их структуре, являются коэрцитивная сила H_c и остаточная намагниченность M_r , а к фазовому составу чувствительна намагниченность технического насыщения M_s [1]. Благодаря большому диапазону изменения основным магнитным параметрам магнитной структуроскопии сталей стала H_c . Но твердость по Роквеллу HRC и механические свойства сталей с содержанием углерода более 0,3 % однозначно изменяются с увеличением температуры T_0 их отпуска после закалки, а H_c в диапазоне $400 < T_0, ^\circ\text{C} < 600$ – неоднозначно. В качестве примера такой зависимости в табл. 1 приведены данные из [2, табл. 1] о зависимостях твердости HRC и магнитных свойств стали 30 от температуры T_0 отпуска после закалки.

Поэтому H_c оказалась не пригодна для контроля HRC и механических свойств закаленных изделий из сталей с содержанием углерода более 0,3 %. В [3] в качестве параметра магнитной структуроскопии предложено использовать отношение $K_{II} = M_r/M_s$, более, чем M_r , селективное к изменениям структуры [4].

Таблица 1. Магнитные свойства и твердость HRC стали 30, отпущенной при разных температурах T_0 отпуска после закалки от температуры $860\text{ }^\circ\text{C}$

$T_0, ^\circ\text{C}$	HRC	H_c , кА/м	K_{II}	HRC (расчет)
300	44	1,22	0,61	43,79
350	41	1,13	0,648	41,27
400	38	0,995	0,697	38,02
450	34	0,873	0,759	33,92
500	32	0,876	0,768	31,6
550	26	0,866	0,779	26,12
600	23	0,834	0,784	22,64

На рис. 1 приведено корреляционное поле зависимости между K_{II} и HRC стали 30, построенное для практически важного диапазона изменения T_0 по данным табл. 1.

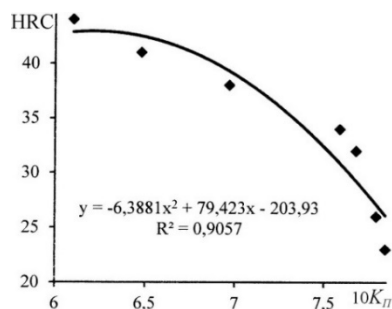


Рисунок 1 – Корреляционное поле зависимости между K_{II} и HRC стали 30, его линия тренда с уравнением и достоверностью R^2 интерполяции

Видно, что зависимость $HRC(K_{II})$ монотонная и однозначная. Но диапазон изменения K_{II} не велик, а использование для описания зависимости $HRC(K_{II})$ квадратичной степенной функции при-

водит к существенной разнице между рассчитанными по результатам измерения K_{II} величинами HRC и их истинными значениями (рис.1). Среднее квадратичное отклонение между ними по данным рис. 1 составило 6,46%. Повышение степени полинома не существенно повышает точность интерполяции, но искажает физически обоснованную монотонность зависимости $HRC(K_{II})$ и увеличивает погрешность расчета.

Цель доклада – повышение точности интерполяции экспериментально установленной зависимости между магнитным параметром и твердостью стали.

Для этого используем в разрабатываемой зависимости логическую функцию «если», которая позволяет использовать разные функциональные зависимости между магнитным параметром и твердостью стали в зависимости от измеренной величины магнитного параметра. Эффективность такого подхода проиллюстрируем его использованием для построения функциональной зависимости $HRC(K_{II})$ для стали 30, рассмотренной выше.

На рис. 2 корреляционное поле зависимости между K_{II} и HRC стали 30 разбито на два перекрывающихся диапазона изменения K_{II} :

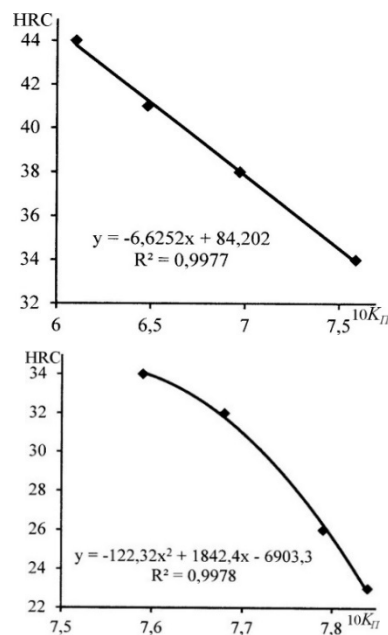


Рисунок 2 – Корреляционное поле зависимости между K_{II} и HRC стали 30 при разбиении на два диапазона ($0,6 \leq K_{II} \leq 0,76$ и $0,75 \leq K_{II} \leq 0,785$) изменения K_{II} , их линии тренда с уравнениями и достоверностями интерполяции

Полученные на рис. 2 линии тренда позволяют рекомендовать следующие формулы для расчета HRC стали 30 по результату измерения параметра K_{II} :
 если $K_{II} \leq 0,756$,
 то $HRC = 84,202 - 66,252 K_{II}$;
 если $K_{II} > 0,756$,
 то $HRC = 18424 K_{II} - 12232 K_{II}^2 - 6903,3$.

Результаты расчета HRC стали 30 по разработанным формулам приведены в таблице, а корреляционное поле между результатами расчета и измерения HRC – на рис. 3.

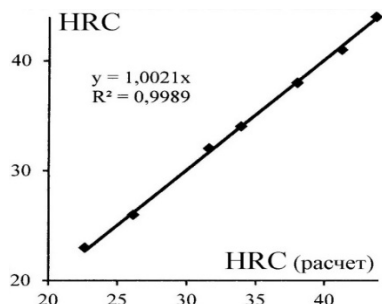


Рисунок 3 – Корреляционное поле зависимости между HRC стали 30 и результатами ее расчета

Представленные на рис. 3 зависимость и результаты ее статистической обработки (среднее квадратичное отклонение между твердостью HRC стали 30 и результатами ее расчета по данным рис. 3 составило 0,67 %) показали, что предложенная методика изменения используемой функциональной зависимости в соответствии с изменен-

ным значением магнитного параметра потенциально позволяет на порядок повысить достоверность функциональной зависимости твердости HRC стали 30 от ее магнитного параметра. Она легко может быть реализована в магнитных структуроскопах программным путем после преобразования результата измерения магнитного параметра в цифровую форму.

Литература

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / В. В. Клюев [и др.] // Магнитные методы контроля; под общ. ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 6. – Кн.1. – 848 с.
2. Бида, Г. В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипурук. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с.
3. Клюев, В. В. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В. В. Клюев, С. Г. Сандомирский. – М.: Изд. дом «СПЕКТР», 2017. – 248 с.
4. Сандомирский, С. Г. Повышение чувствительности остаточной намагниченности среднеуглеродистой стали к ее твердости / С. Г. Сандомирский // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2021. – Вып. 10. – С. 100–104.

УДК 535 012.2 621.373.826.038.82

ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ГЕНЕРАЦИИ ОДНОМОДОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Свирина Л.П.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Выявлены свойства инвариантности экспериментально апробированной модели одномодового Nd:YAG лазера с диодной накачкой, обладающего линейной амплитудной и фазовой анизотропией резонатора. Объяснены экспериментально наблюдаемые закономерности и обнаружен ряд не известных ранее эффектов нелинейной динамики, присущих анизотропным лазерам класса В: бистабильность асимметричных периодических и хаотических режимов генерации волн с линейными ортогональными состояниями поляризации, режимы генерации, чувствительные к воздействию случайных флуктуаций, возникающие вследствие стохастизации периодических колебаний при прохождении линии рождения устойчивого предельного цикла вблизи порога генерации, последовательность бифуркаций удвоения периода.

Ключевые слова: Анизотропный твердотельный лазер, регулярные и сложные колебания.

POLARIZATION DYNAMICS OF A SINGLE MODE SOLID STATE LASER

Svirina L.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The invariance properties have been elucidated of the experimentally confirmed model of a single-mode diode-pumped Nd:YAG laser, possessing linear amplitude and phase anisotropies of the cavity. The experimentally observed regularities have been elucidated and a series of new dynamical phenomena have been found, among which are: bistability of two-frequency asymmetric periodic and chaotic oscillations of waves with linear orthogonal states of polarization, noise-induced oscillations, arising as a result of stochastization of a periodic solution when the Hopf bifurcation line is passing in the vicinity of the lasing threshold, as well as a period doubling bifurcations cascade.

Key words: vector-field solid state laser, regular and complicated oscillations.

*Адрес для переписки: Свирина Л.П., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lpsvirina@bntu.by*