

ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТЕЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НАПЛАВКОЙ ПОД ФЛЮСОМ

THEORY OF SIMILARITY AND DIMENSIONS IN THE STUDY OF THE PROCESS OF RESTORATION OF DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINERY UNDER SUBMERGED ARC WELDING

J. Katsitadze, Academician of the Academy of Agricultural Sciences of Georgia, Doctor of Technical Sciences, Full Professor

Georgian Agrarian University:

140 Alley of David the Builder, 0159, Tbilisi, Georgia. E-mail: chokhadari@yahoo.com

G. Kuteliya, Doctoral Candidate

Georgian Technical University:

77 Kostava Street, 0175, Tbilisi, Georgia. E-mail: Qutelia.giorgi@mail.ru

Abstract: The paper studies the process of restoration of worn-out parts of agricultural machinery under submerged arc welding, produces definable and determining similarity criteria characterizing the process and discloses their physical entity. The methodology is developed and the criterion equation is received for determining and optimizing the hardness of metal coatings obtained, which is a scientific basis for conducting targeted experiments. An outfit is made for surfacing ploughshares submerged, that allows changing the basic factors without stepwise method. Experimental studies are conducted, as a result of which an analytic form of criteria equation is produced and optimum modes of the recovery of details under submerged arc welding are established.

KEYWORDS: AGRICULTURAL EQUIPMENT, WEAR, SUBMERGED ARC WELDING, SIMILARITY CRITERION, OPTIMIZATION.

В настоящее время широко применяются инновационные ресурсосберегающие технологические процессы восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники, позволяющие повторно использовать отработанные детали, продлить их срок службы и „вторую жизнь“ машин в целом. К таким способам относится автоматическая наплавка под слоем флюса, которая используется для восстановления крупногабаритных деталей с большими износами.

Твердость металлопокрытий, полученных этим способом, имеет важное значение для их износостойкости, поскольку зависимость между этими параметрами при абразивном изнашивании является прямопропорциональной [1].

Для исследования твердости покрытий нами была использована теория подобия и размерностей с помощью которой можно заранее планировать эксперименты,

установить функциональную зависимость между критериями подобия, учесть их одновременное влияние на параметр оптимизации и разработать рациональные режимы восстановления для получения покрытий с высокой износостойкостью.

Согласно этой теории [2,3] для исследования процесса восстановления деталей необходимо получать характерные критерии подобия, которые являются безразмерными комплексами, установить функциональную связь между ними и оптимизировать процесс.

В нашем случае параметром оптимизации является твердость металлопокрытий, полученных автоматической наплавкой под флюсом.

На основе анализа проведенных исследований и литературных источников [1,5] твердость этих покрытий, зависит от факторов, наименование и размерности которых представлены в таблице.

Таблица 1: Перечень факторов, влияющих на твердость металлопокрытий, полученных наплавкой под флюсом.

№	Наименование параметра оптимизации и факторов	обозначение	Размерность в системе Si	Размерность, выражения символами величин
1	Твердость металлопокрытий	H_{μ}	МПа	$ML^{-1}T^{-2}$
2	Размер восстанавливаемой детали	L	м	L
3	Сила тока	J	А	J
4	Напряжение	v	В	$ML^2 T^{-3} J^{-1}$
5	Скорость подачи электрода	V	м.сек ⁻¹	LT^{-1}
6	Электрическое сопротивление электрода	R	Ом	$MLN^{-3} J^{-1}$
7	Скорость наплавки	V_1	м.сек ⁻¹	LT^{-1}
8	Плотность электрода	ρ	кг.м ⁻³	ML^{-3}
9	Плотность флюса	ρ_1	кг.м ⁻³	ML^{-3}
10	Вылет электрода	e	м	M
11	Расход флюса	Q	кг.сек ⁻¹	MT^{-1}

Функциональная связь между параметром оптимизации и влияющими на него факторами имеет вид:

$$H_{\mu} = f(L, J, v, V, V_1, R, \rho, \rho_1, e, Q) \dots (1)$$

Эту зависимость можно выразить в виде критериев подобия. Их число определяется r – теоремой анализа размерностей [4]:

$$r = N - n$$

N – число величин, n – число основных факторов. Эти факторы необходимо подбирать так, чтобы определитель показателей степени их размерностей отличался от нуля. С учетом этих требований, в качестве основных факторов принимаем – силу тока – J , производительность – Q , размер восстанавливаемой детали – L и скорость наплавки – V .

Размерности этих величин можно представить так:

$$\begin{aligned} [Q] &= L^0 M T^{-1} J^0 \\ [L] &= L M^0 T^0 J^0 \\ [V] &= L M^0 T^{-1} J^0 \\ [J] &= L^0 M^0 T^0 J \end{aligned}$$

Определитель показателей степеней этих величин равен:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 1 \neq 0$$

Это значит, то основные факторы подобраны правильно.

Число критериев подобия:

$$r = N - n = 11 - 4 = 7$$

Необходимо получать характерные критерии подобия:

$$\begin{aligned} \pi &= H_{\mu} J^{\alpha} Q^{\beta} L^{\gamma} V^{\delta} = 1 \\ \pi_1 &= v J^{\alpha_1} Q^{\beta_1} L^{\gamma_1} V^{\delta_1} = 1 \\ \pi_2 &= V_1 J^{\alpha_2} Q^{\beta_2} L^{\gamma_2} V^{\delta_2} = 1 \\ \pi_3 &= R J^{\alpha_3} Q^{\beta_3} L^{\gamma_3} V^{\delta_3} = 1 \\ \pi_4 &= \rho J^{\alpha_4} Q^{\beta_4} L^{\gamma_4} V^{\delta_4} = 1 \\ \pi_5 &= e J^{\alpha_5} Q^{\beta_5} L^{\gamma_5} V^{\delta_5} = 1 \\ \pi_6 &= \rho_1 J^{\alpha_6} Q^{\beta_6} L^{\gamma_6} V^{\delta_6} = 1 \end{aligned}$$

Где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ – неизвестные показатели степеней.

Чтобы π_i – критерии подобия стали безразмерными, показатели степени должны быть такими, чтобы при замене каждой переменной соответствующей комбинацией M, L, T, J, в полученных выражениях, показатель основной размерности был равен нулю [6];

С учетом этого, можно получить определяемый критерий подобия:

$$H_{\mu} J^{\alpha} Q^{\beta} L^{\gamma} V^{\delta} = M L^{-1} T^{-2} J^{\alpha} M^{\beta} T^{-\beta} L^{\gamma} L^{\delta} T^{-\delta} = M^0 L^0 T^0 J^0 = 1$$

Получаем следующие линейные уравнения:

$$\begin{aligned} 1 + \beta &= 0 \\ -1 + \gamma + \delta &= 0 \\ -2 - \beta - \delta &= 0 \\ \alpha &= 0 \end{aligned}$$

Решение этих уравнений дает: $\alpha = 0$; $\beta = -1$; $\delta = -1$; $\gamma = 2$

Соответственно, определяемый критерий имеет вид:

$$\pi = \frac{H_{\mu} L^2}{QV}$$

Аналогическим образом получаем определяющие критерии подобия:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{vJ}{QV^2}; \quad \pi_2 = \frac{V_1}{V}; \quad \pi_3 = \frac{RJ^2}{QV}; \\ \pi_4 &= \frac{\rho L^2 V}{Q}; \quad \pi_5 = \frac{e}{L}; \quad \pi_6 = \frac{\rho}{\rho_1} \end{aligned}$$

Физический смысл полученных критериев подобия следующий: $\frac{H_{\mu} L^2}{QV}$ – критерий качества – безразмерная твердость металлопокрытий, полученных наплавкой под флюсом. Это определяемый критерий, который должен быть выражен через определяющие критерии подобия. Он же является параметром оптимизации. Остальные являются технологическими критериями подобия.

$\frac{vJ}{QV^2}$ – определяющий критерий, который учитывает влияние напряжения тока на твердость покрытий при наплавке.

$\frac{V_1}{V}$ – критерий, учитывающий скорость наплавки.

$\frac{RJ^2}{QV}$ – критерий характеризующий влияние сопротивления тока при наплавке.

$\frac{\rho L^2 V}{Q}$ – критерий, учитывающий, влияние размера восстанавливаемой детали.

$\frac{e}{L}$ – критерий подобия, учитывающий влияние вылета электрода.

$\frac{\rho_1}{\rho}$ – критерий, учитывающий влияние плотности флюса на качество наплавки.

Связь между определяемыми и определяющими критериями подобия можно предствить так:

$$\pi = \varphi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6) \dots (2)$$

$$\text{или } \frac{H_{\mu}L^2}{QV} = \varphi \left(\frac{vJ}{QV^2}, \frac{V_1}{V}, \frac{RJ^2}{QV}, \frac{\rho L^2 V}{Q}, \frac{e}{L}, \frac{\rho}{\rho_1} \right) \dots (3)$$

Полученный общий вид критериального уравнения является научной основой проведения заранее планированных экспериментов для поиска оптимальных условий и режимов восстановления деталей наплавкой под флюсом. Для удобства экспериментов последнее уравнение можно представить следующим образом:

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = \varphi \left(\frac{vJ}{QV^2}, \frac{V_1}{V}, \frac{RJ^2}{QV}, \frac{\rho L^2 V}{Q}, \frac{\rho V e^2}{Q}, \frac{\rho_1}{\rho} \right) \dots (4)$$

Связь между определяемым и определяющими критериями имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c \left(\frac{vJ}{QV^2} \right)^x; \\ \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c_1 \left(\frac{V_1}{V} \right)^{x_1}; \\ \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c_2 \left(\frac{RJ^2}{QV} \right)^{x_2}; \\ \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c_3 \left(\frac{\rho L^2 V}{Q} \right)^{x_3}; \\ \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c_4 \left(\frac{e}{L} \right)^{x_4}; \\ \frac{H_{\mu}L^2}{QV} &= c_5 \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^{x_5}. \end{aligned}$$

После логарифмирования и сложения, имеем:

$$6 \lg \frac{H_{\mu}L^2}{QV} = \lg c + \lg c_1 + \lg c_2 + \lg c_3 + \lg c_4 + \lg c_5 + x \lg \frac{vJ}{QV^2} + x_1 \lg \frac{V_1}{V} + x_2 \lg \frac{RJ^2}{QV} + x_3 \lg \frac{\rho L^2 V}{Q} + x_4 \lg \frac{e}{L} + x_5 \lg \frac{\rho}{\rho_1}$$

Проводим потенцирование и получаем

$$\frac{H_{\mu}L^2}{QV} = A \left(\frac{vJ}{QV^2} \right)^a \left(\frac{V_1}{V} \right)^b \left(\frac{RJ^2}{QV} \right)^c \left(\frac{\rho L^2 V}{Q} \right)^d \left(\frac{e}{L} \right)^e \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right)^f \dots (5)$$

$$\text{Где } A = \sqrt[6]{c \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5};$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{x}{6}; b = \frac{x_1}{6}; \\ c &= \frac{x_2}{6}; d = \frac{x_3}{6}; \\ e &= \frac{x_4}{6}; f = \frac{x_5}{6}; \end{aligned}$$

Постоянные коэффициенты $c, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ и показатели степени $x, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ характеризуют одновременное влияние отдельных факторов на твердость металлопокрытия.

Для определения этих величин и получения аналитического вида уравнения нами были проведены эксперименты на модифицированной нами установке А-1416 (рис).



Рис. Модифицированная установка для автоматической наплавки деталей под флюсом.

Существующая установка позволяла изменять режимы наплавки ступенчатым образом с помощью зубчатых передач, что затрудняло установление оптимальных режимов. Поэтому, мы модифицировали ее с помощью электрических двигателей и соответствующих приспособлений, что позволило бесступенчатое регулирование режимов в широком диапазоне.

Восстанавливались изношенные лемехи плугов с автоматической наплавкой под флюсом с различными режимами. Для восстановления долотообразных лемехов нами было разработано и изготовлено специальное копировальное устройство.

Микротвердость полученных металлопокрытий измеряли с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой на инденторе 100 Н. Результаты экспериментов обрабатывались методом наименьших квадратов.

После математической обработки был получен аналитический вид критериального уравнения

$$\frac{H_{\mu} L^2}{QV} = 8,2 \cdot 10^{10} \left(\frac{vJ}{QV^2}\right)^{0,24} \left(\frac{V_1}{V}\right)^{-0,12} \left(\frac{RJ}{Qv}\right)^{0,02} \left(\frac{\rho L^2 V}{Q}\right)^{0,14} \left(\frac{e}{L}\right)^{0,3} \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^{0,08} \dots (6)$$

Проверка адекватности полученной математической модели показала, ошибка вычислений не превышает 4%. После анализа полученного уравнения были установлены оптимальные режимы восстановления лемехов плугов автоматической наплавкой под флюсом.

Сила тока

$$J = 220 \text{ A}$$

Напряжения – $v = 25 \text{ в}$

Вылет электрода – $e = 12 \text{ мм}$

Скорость подачи электрода $V = 0,03 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$

Скорость наплавки $V_1 = 0,001 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$

Этим режимам соответствовала микротвердость металлопокрытий $H_{\mu} = 10000 \text{ МПа}$.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для восстановления изношенных лемехов плугов рациональным способом можно считать автоматическую наплавку под слоем флюса.
2. Модифицирована установка А-14 16 для наплавки и разработано соответствующее устройство.
3. Выведены характерные критерии подобия для наплавки под флюсом.
4. Получены общий и аналитические виды критериальных уравнений и установлены оптимальные режимы восстановления.

Литература

1. Дж. Кацитадзе – надежность и ремонт машин. Тбилиси, 1999. -189 с.
 2. П. М. Алабужев, В. Б. Геронимус, Л. М. Минкевич, В. А. Шеховцев. Теория подобия и размерностей. Моделирование. М. „Высшая школа“, 1988. -210 с.
 3. В. А. Веников – Теория подобия и моделирования. М. „Высшая школа“. 1966. -205 с.
 4. Проф. Ив. Н. Георгиев – Основы на подобие и моделирането на селскостопанската техника. Земиздам. София, 1973. – 246 с.
 5. Дж. Кацитадзе- Ремонт машин, Тбилиси, 2008. – 116 с.
- J. Katsitadze, N. Sardjveladze, A.Chizanishvili, I. Kapanadze Seaching processes of renewab details of agricultural technics with the electrosparklingelloy using the theorethicalmethodsof similarity and measurement, xvi International scientific – technical conference, Varna, 2009,