

УДК 621.793.927.7:669.018.25

Пулька Ч. В., Пидгурский М. И., Сенчышын В. С., Шарык М. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ

Индукционная наплавка порошками высокоуглеродистых хромистых сплавов типа сормайт 1 нашла достаточно широкое применение при изготовлении рабочих органов сельскохозяйственных машин: лемехов плугов, ножей ботворезов, лап культиваторов и т.п. Наплавленный металл при этом имеет крупнозернистую структуру с включениями крупных карбидов хрома [1–2].

Для измельчения структуры и улучшения свойств наплавленного металла была предложена новая технология индукционной наплавки с использованием вибраций [3–6]. Суть ее заключается в том, что деталь подвергают вертикальной или горизонтальной вибрации в тот период времени, когда порошкообразная шихта находится в расплавленном состоянии. При этом большое значение имеет направление приложения колебаний (рис. 1), а также их частота и амплитуда.

Целью данной работы является исследование технологии индукционной наплавки с использованием механической вибрации, а также установлены зависимости между амплитудой и частотой колебаний и величиной карбидных составляющих на свойства наплавленного металла.



Рис. 1. Установка для индукционной наплавки

Для оценки эффективности разработанной технологии были проведены исследования структуры, микротвердости структурных составляющих и износостойкости металла, наплавленного индукционным способом без и с наложением вибрации [5]. Для проведения исследований индукционным методом с использованием шихты, содержащей порошок сплава ПГ-С1 (сормайт 1), были наплавлены плоские образцы из стали Ст3: образец № 1 – без вибраций; образец № 2 – с горизонтальной вибрацией. Наплавку производили на высокочастотном генераторе типа ВЧГ 6-60/0,44 при постоянной удельной мощности W и времени наплавки t . Режимы были одинаковыми для двух вариантов наплавки: анодное напряжение 10 кВ; напряжение на контуре 5,4 кВ; ток сетки лампы 2,2 А; ток анода лампы 2 А; время наплавки 35 с; амплитуда колебаний 0,2 мм при частоте 50 Гц.

Микроструктура основного металла представляет собой феррит и перлит, а микроструктура наплавленного металла исследуемых образцов состоит из первичных карбидов (комплексные карбиды типа $(Fe,Cr)_7C_3$ и $(Fe,Cr)_3C$ в виде крупных пластин «карандашного»

типа, имеющих гексагональную огранку с четкой границей сопряжения с матрицей, карбидной эвтектики и матричной аустенитной структуры.

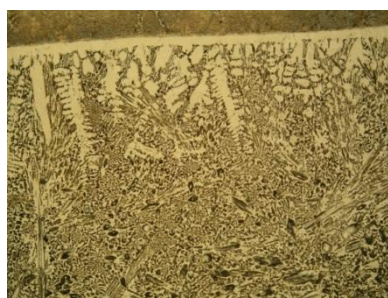
Избыточные карбиды, как правило, располагаются в виде отдельных пластинчатых выделений в центральной части по ширине и толщине наплавленного валика. Прямоугольные и шестигранные выделения – это карбиды различной дисперсности, часть из них – избыточные пластинчатые карбиды, достаточно равномерно распределенные в матрице. Микротвердость карбидов изменялась в пределах $HV_{0,5} = 11710\text{--}12830$ МПа. Микротвердость структурных составляющих для образцов представлена в табл. 1.

Таблица 1

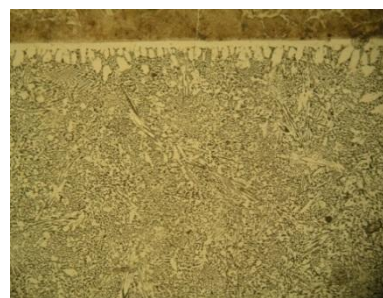
Микротвердость структурных составляющих наплавленного металла

№ образцов	Микротвердость структурных составляющих, МПа		
	Карбиды хрома	Матрица	Белая полоска
1	11710...12830	4120...4410	3030...3410
2	11710...12830	4800...5090	3860

Необходимо отметить отличие в структуре двух вариантов наплавленного металла. Горизонтальная вибрация приводит к заметному измельчению карбидной составляющей (рис. 2, б). Карбиды, имеющие вид шестигранников со средней длиной стороны 10–12 мкм, без вибрации (рис. 2, а), измельчаются до 3,5–7 мкм при горизонтальной вибрации (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла образцов:

а – № 1; б – № 2 ($\times 200$, уменьш. 2/3)

Для изучения распределения элементов (Cr, C) при переходе с основного металла в наплавленный были произведены их линейные записи с помощью микрорентгеноспектрального анализа на микроанализаторе САМЕВАХ SX – 50 французской фирмы САМЕСА [5]. Во всех случаях анализ производился примерно в центре наплавленного слоя перпендикулярно линии сплавления на глубине до 350 мкм от границы сплавления. Установлено, что в металле исследованных образцов углерод связан в карбиды типа $(Fe,Cr)_7C_3$ и $(Fe,Cr)_3C$, заметного диффузионного перераспределения углерода у линии сплавления не наблюдалось.

Были проведены также измерения твердости наплавленного металла на твердомере «Лесо» при нагрузке 0,5 и 3 Н (рис. 3). Как видно из рис. 3, наибольшую твердость имеет образец №2.

Производили также лабораторные испытания износостойкости наплавленного металла образцов № 1, 2 на машине НК-М [7]. Как видно с рис. 3, наименьшую износостойкость имеет образец № 1 (2,2), а наибольшую – образец № 2 (3,4). Таким образом, при наплавке по схеме принятой для образца № 2, достигается наивысшая износостойкость, за счет мелкозернистой структуры наплавленного металла и образованием в большей степени карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$.

Таким образом, наивысшую износостойкость имеет образец № 2, наплавленный с наложением вибрации в горизонтальной плоскости, что объясняется более благоприятной структурой наплавленного металла.

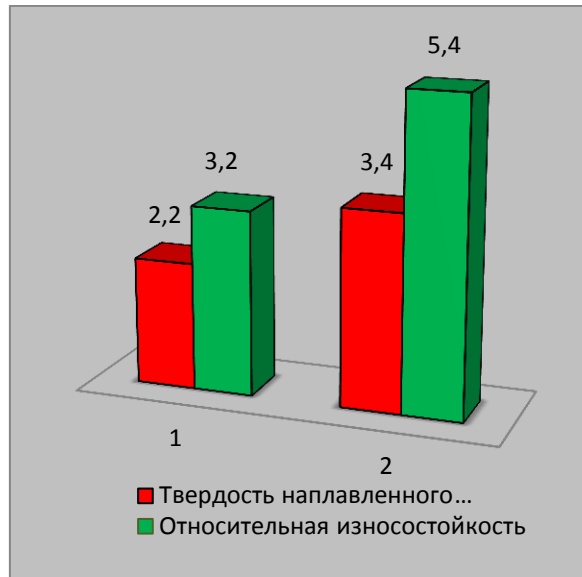


Рис. 3. Относительная износостойкость и твердость наплавленного металла образцов №1 и №2

Важным значением при индукционной наплавке с использованием механической вибрации занимает частота и амплитуда колебаний, которые влияют на карбидные составляющие. Для этого в работе [8] также проведены теоретические исследования влияния параметров вибрации на размеры карбидных составляющих наплавленного металла. На основании проведенных исследований получено соотношение оценки параметров вибрации (амплитуды и частоты) для предварительно выбранного значения размера карбидных составляющих, которые имеют вид:

$$\omega^2 \leq 0,5(2f_1^2 - 4\xi^2 + 4\rho^{-2}D^{-2}\eta^2a^2h_1^{-4}) + \sqrt{0,25(2f_1^2 - 4\xi^2 + 4\rho^{-2}D^{-2}\eta^2a^2h_1^{-4})^2 - f_1^4};$$

$$a^2 \geq \frac{f_1\rho^2D^2h_1^4[\omega^4 - (2f_1^2 - 4\xi^2)\omega^2 + f_1^4]}{4\eta^2\omega^4}. \quad (1)$$

Таким образом, если будут заданы характеристики расплавленного металла f_1, g, ρ, η, h_1 , то для заданного размера D структуры наплавленного металла можно найти соответствующие параметры вибрации ω и a . Проверку корректности сформулированной модели проводили по проведенным выше исследованиям структуры металла, наплавленного индукционным способом без и с наложением вибрации [5].

Полученные результаты сравнивали с расчетными, полученными по приведенной выше расчетной модели. С этой целью на основании литературных данных для высокоуглеродистого хромистого сплава приведены следующие приближенно средние значения характеристик в соотношениях (1):

$$\rho = 7,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}; \eta \approx 7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{мм} \cdot \text{с}}; \omega = 50 \text{ Гц}; f_1 \approx 2 \cdot 10^3 D^{-1} \text{ Гц};$$

$$\xi \approx 2 \cdot 10^6 D^{-1} \text{ Гц}; h_1 \approx 2 \cdot 10^{-6} \text{ мм}. \quad (2)$$

Для более наглядного представления зависимости величины карбида D от параметров вибрации a – амплитуды и ω – частоты построены отдельно зависимости $D \sim a$ и $D \sim \omega$. Для этого использовано только второе соотношение (1). Учитывая, что, $f_1^4 \gg \omega^4 - (2f_1^2 - 4\xi^2)\omega^2$ второе соотношение можно представить приближенно так:

$$D^3 \geq \frac{8 \cdot 10^{15} \rho^2 h_1^4}{a^2 \eta^2 \omega^4}. \quad (3)$$

На основании соотношения (3) запишем уравнение зависимостей $D \sim a$ ($\omega = 50 \text{ Гц}$) и $D \sim \omega$ ($a = 0,2 \text{ мм}$) в таком виде:

$$D \approx 1,45 \cdot a^{-2/3} \text{ (мкм)}, \quad D \approx 785 \cdot \omega^{-4/3} \text{ (мкм)}. \quad (4)$$

На основании соотношений (4) на рис. 4 построены графические зависимости $D \sim a$ и $D \sim \omega$. Здесь кружочком на графиках отмечено координаты точек, в которых совпадают расчетные и полученные в работе [5] значения размеров карбида по заданным параметрам вибрации. Это свидетельствует о корректности и достаточной точности предложенной расчетной модели. Как видно из рис. 4, при увеличении параметров вибрации a , ω размер карбида D значительно уменьшается.

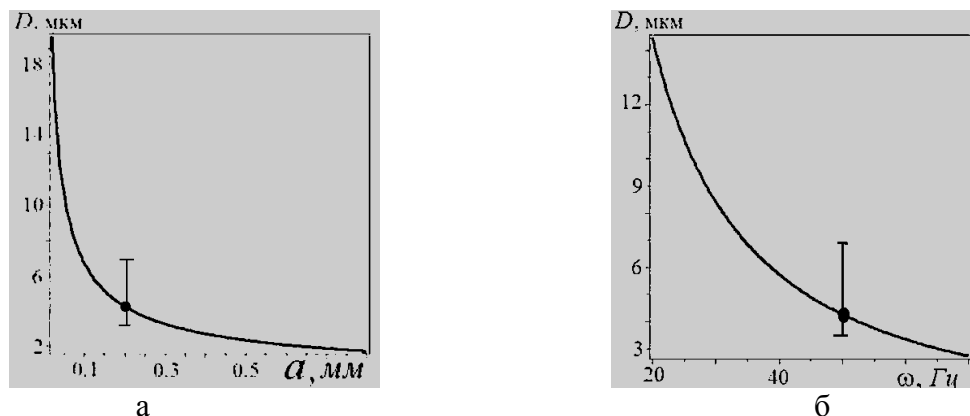


Рис. 4. Зависимости $D \sim a$ и $D \sim \omega$, размера карбида D от параметров вибрации: а – от амплитуды a ; б – от частоты ω

Таким образом, на основании соотношений (1) и (2) можно подобрать заранее заданные значения параметров вибрации a , ω , для которых можно получить желаемую структуру наплавленного слоя металла.

ВЫВОДЫ

Наивысшую износостойкость имеет технология индукционной наплавки с наложением механической вибрации в горизонтальной плоскости по сравнению с технологией без вибрации и достигается за счет более благоприятной структуры наплавленного металла.

Получены соотношения оценки параметров вибрации амплитуды a и частоты ω , с помощью которых можно получить желаемую структуру наплавленного слоя металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев, Б.М. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М.: Машиностроение, 1970. – 184 с.
2. Пулька Ч.В. Наплавка рабочих узлов почвообрабатывающей и уборочной сельскохозяйственной техники / Ч.В. Пулька // Автомат. сварка. – 2003. – №9. – С. 22–25.
3. Пат. №54204 В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких плоских сталевих деталей / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин, О. І. Король, М. В. Шарик. – Бюл. №20 від 25.10.2010.
4. Пат. №59994 UA МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків / Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин. – Бюл. №11 від 10.06.2011 р.
5. Влияние вибрации на структуру и свойства металла наплавленного индукционным методом / Ч. В. Пулька, О. М. Шаблій, В. С. Сенчишин, М. В. Шарик, Г. Н. Гордань // Автомат. Сварка. – 2012. – №1. – С. 27–29.
6. Шаблій О.М. Віброіндукційне наплавлення тонких плоских деталей / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин // Тези доповіді на 10-му Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. – С. 289–290.
7. Юзвенко Ю.А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла / Ю. А. Юзвенко, В. А. Гавриш, В. А. Марьенко // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. – С. 23–27.
8. Сенчишин В.С. Расчет размеров структурных составляющих наплавленного индукционным способом металла с наложением механической вибрации / В. С. Сенчишин, Ч. В. Пулька // Автомат. сварка. – 2015. – №8. – С. 34–37.