



ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

Ч. В. ПУЛЬКА, д-р техн. наук, **О. Н. ШАБЛИЙ**, д-р физ.-мат. наук,
В. С. СЕНЧИШИН, **М. В. ШАРЫК**, инженеры (Тернопольский национальный технический университет имени И. Пулюя),
Г. Н. ГОРДАНЬ, канд. техн. наук (Институт электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований структуры и свойств металла, наплавленного индукционным методом с наложением вибраций в период расплавления наплавочного материала. Показано, что наложение вибраций приводит к увеличению износостойкости наплавленного металла за счет измельчения его структуры.

Ключевые слова: индукционная наплавка, индуктор, удельная мощность, вертикальная и горизонтальная вибрации, наплавленный металл, структура, износостойкость

Индукционная наплавка порошками высокоуглеродистого хромистого сплава ПГ-С1 (сормайт 1) широко применяется при изготовлении рабочих органов сельскохозяйственных машин: лемехов плугов, ножей ботворезов, лап культиваторов и пр. При этом наплавленный металл 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], заключающаяся в том, что деталь подвергают вертикальной или горизонтальной вибрации в тот момент, когда порошкообразная шихта находится в расплавленном состоянии. При этом большое значение имеет направление приложения колебаний (рис. 1), а также их частота и амплитуда.

Для оценки эффективности разработанной технологии проведены исследования структуры, микротвердости структурных составляющих и износостойкости металла, наплавленного индукционным способом без и с наложением вибраций. Для проведения исследований индукционным методом с использованием шихты, содержащей порошок сплава ПГ-С1, были наплавлены плоские образцы из стали Ст3: образец № 1 — без вибраций; № 2, 3 — соответственно с вертикальными и горизонтальными вибрациями. Наплавку проводили на высокочастотном генераторе типа ВЧГ 6-60/0,44 при постоянной удельной мощности W и времени наплавки t (рис. 1, б). Режимы были одинаковыми для всех трех вариантов наплавки: напряжение на контуре 5,4 кВ; анодное напряжение 10 кВ; ток сетки лампы 1,2 А; ток анода лампы 2 А; время наплавки 35 с; амплитуда колебаний 0,2 мм при частоте 50 Гц.

Из наплавленных заготовок вырезали образцы для исследования структуры и износостойкости наплавленного металла.

Травление образцов для проведения металлографических исследований проводили поэтапно. Электролитическим способом в 20%-м растворе хромовой кислоты (напряжение 20 В и время выдержки 10 с) определяли структуру наплавленного металла — химическим травлением в 4%-м растворе азотной кислоты.

Микроструктура основного металла представляет собой феррит и перлит, а микроструктура наплавленного металла всех 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.

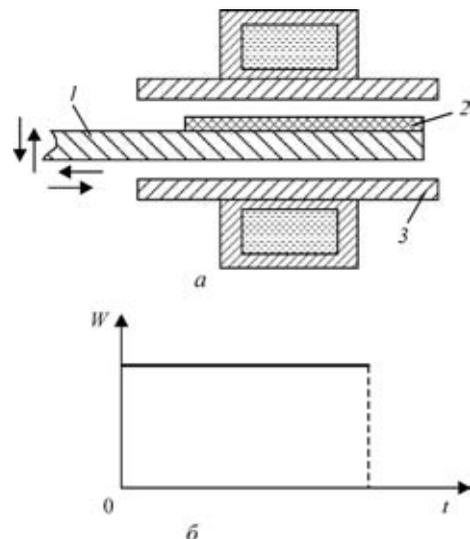


Рис. 1. Схема наплавки (а: 1 — наплавляемая деталь; 2 — порошкообразная шихта; 3 — индуктор (стрелками показано направление приложения вибраций — вертикальное или горизонтальное)) и удельная мощность W генератора в процессе наплавки (б)

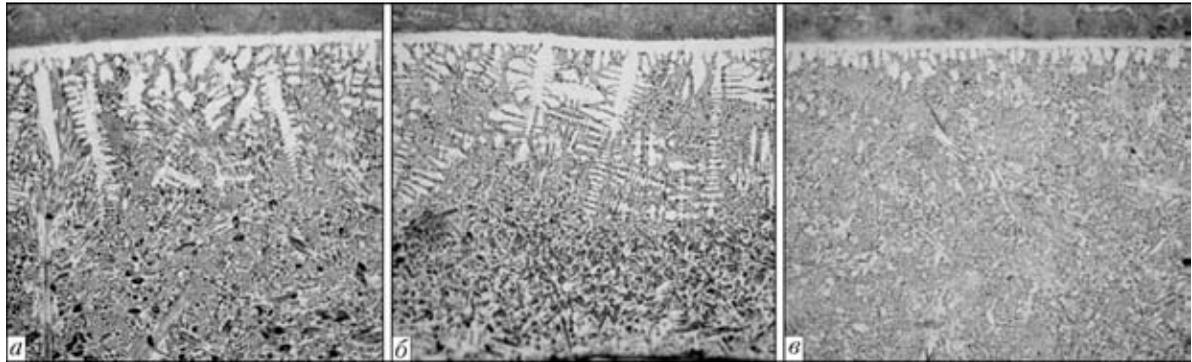


Рис. 2. Микроструктура (×200) наплавленного металла образцов № 1–3 (а–в)

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 $HV_{0,5} = 11710...12830$ МПа.

Общим для всех вариантов наплавленного металла является:

- наличие в наплавленном слое доэвтектической зоны, примыкающей к линии соединения, которая характеризуется формированием дендритов твердого раствора (легированного аустенита) с осями первого и второго порядка, а также карбидной эвтектики, кристаллизующейся в междендритном пространстве. Микротвердость аустенита для образцов № 1 и 2 составляла $HV_{0,5} = 4120...4410$ МПа, для образца № 3 — $HV_{0,5} = 4800...5090$ МПа. Кроме того, обнаружена структурная неоднородность вдоль линии соединения со стороны сормайта, заключающаяся в том, что доэвтектическая дендритная зона распределена неравномерно;

- образование граничной белой полоски твердого раствора (легированного аустенита) между наплавленным и основным металлом переменной ширины 10...20 мкм для образца № 1 с микротвердостью $HV_{0,5} = 3030...3410$ МПа, а для образцов № 2 и 3 $HV_{0,5} = 3410...3810$ МПа и $HV_{0,5} = 3860$ МПа соответственно;

- со стороны основного металла у линии соединения имеется диффузионная зона, представляющая собой тонкопластинчатый перлит и феррит по границам зерен, иногда с ориентацией по видман-

штетту с микротвердостью $HV_{0,5} = 2440$ МПа, возникшая вследствие диффузии углерода из сормайта в основной металл.

Микротвердость структурных составляющих для трех образцов представлена в таблице.

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

Микротвердость структурных составляющих наплавленного металла типа ПГ-С1, МПа

№ образца	Карбиды хрома	Матрица	Белая полоска
1	11710...12830	4120...4410	3030...3410
2	11710...12830	4120...4410...4800	3410...3810
3	11710...12830	4800...5090	3860

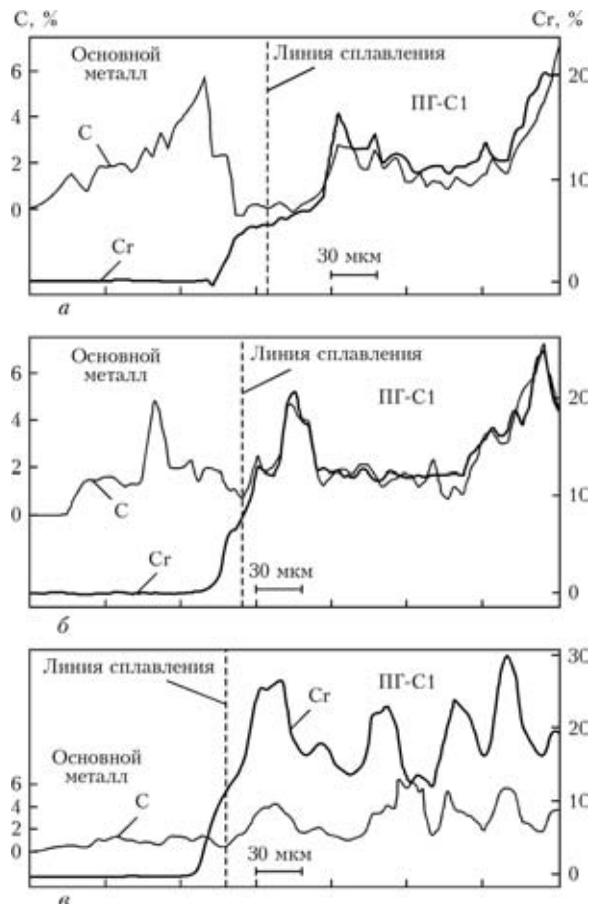


Рис. 3. Распределение углерода и хрома по толщине наплавленного металла в образцах № 1–3 (а–в)

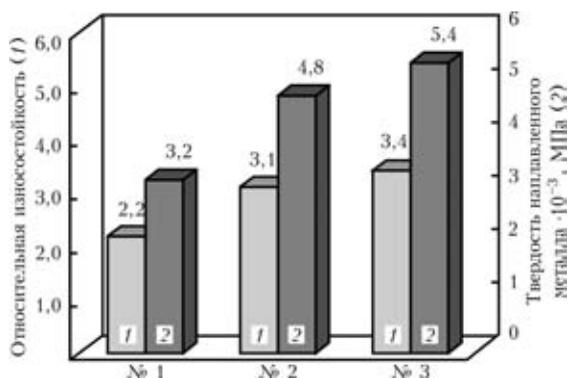


Рис. 4. Относительная износостойкость (1) и твердость наплавленного металла (2) образцов № 1–3

Максимальная глубина эвтектической зоны в образцах № 1 и 2 (см. рис. 2, а, б), а минимальная — в образце № 3 (рис. 2, в). В образце № 3 зона аустенитных дендритов занимает наименьший процент по длине наплавки по сравнению с образцами № 1 и 2. При горизонтальной вибрации линия соединения со стороны сормаита в основном представляет собой белую полосу с образованием почти равноосных зерен аустенита (см. рис. 2, в).

Для изучения распределения элементов (хрома, углерода) при переходе от основного металла к наплавленному проведен микрорентгеноспектральный анализ на микроанализаторе САМЕВАХ SX-50 французской фирмы «Самеса» (рис. 3). Во всех случаях анализ проводили примерно в центре наплавленного слоя перпендикулярно линии сплавления на глубине до 350 мкм от границы сплавления. Установлено, что в металле исследуемых образцов углерод связан в карбиды типа $(Fe,Cr)_7C_3$ и $(Fe,Cr)_3C$, заметного диффузионного перераспределения углерода у линии сплавления не наблюдалось.

Измерения твердости наплавленного металла на твердомере «LECO» при нагрузке 0,5 и 3 Н

(рис. 4) показали, что наибольшую твердость имеет образец № 3. Проведены также лабораторные испытания износостойкости наплавленного металла образцов № 1–3 на машине НК-М [7]. Условия испытаний были следующими: абразив — кварцевый песок с размером частиц 0,2...0,4 мм; путь трения 415 м; давление 0,466 МПа; эталон — отожженная сталь 45. Как видно из рис. 4, наименьшую износостойкость имеет образец № 1 (2,2), а наибольшую — образец № 2 и 3 (соответственно 3,1 и 3,4). При наплавке по схеме, принятой для образца № 3, достигается наивысшая износостойкость, что объясняется благоприятной структурой наплавленного металла и образованием в большей степени карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального анализа.

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 // Автомат. сварка. — 2003. — № 9. — С. 22–25.
3. Пат. на корисну модель 54204 В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких плоских сталевих деталей / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин та ін. — Бюл. № 20 від 25.10.2010.
4. Пат. на корисну модель UA МПК В23К 13/00 № 59994. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин. — Бюл. № 11 від 10.06.2011.
5. Пат. на корисну модель UA МПК В23К 13/00 № 64371. Спосіб наплавлення деталей / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин. — Бюл. № 21 від 10.11.2011.
6. Шаблій О. М., Пулька Ч. В., Сенчишин В. С. Віброіндукційне наплавлення тонких плоских деталей // Тези доп. на 10 Міжнарод. симп. укр. інженерів-механіків у Львові, 25–27 травня 2011 р. — 2011. — С. 289–290.
7. Юзвенко Ю. А., Гавриш В. А., Марьенко В. А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 23–27.

Presented are the investigation results on structure and properties of metal deposited by the induction method with superposition of vibrations in a period of melting of a welding consumable. It is shown that the superposition of vibrations leads to improvement of wear resistance of the deposited metal due to refinement of its structure.

Поступила в редакцию 31.10.2011

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА!

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ВО ВСЕМ МИРЕ

Materials Science International (MSI) — уникальная по своему содержанию база данных благодаря всестороннему представлению структурных свойств 30000 неорганических материалов, включая фазовые диаграммы унарных, бинарных, тернарных и более сложных систем. Ресурс предназначен для специалистов в области химии, физики, материаловедения, кристаллографии, термодинамики, выращивания кристаллов, разработки и испытания новых материалов и сплавов.

URL: www.rucont.ru