



СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, НАПЛАВЛЕННОГО ЛАЗЕРНО-ПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

Н. Н. СКРИПКА, инж. (Физико-технол. ин-т металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев)

Выполнены исследования структуры и свойств наплавленного слоя на основе никеля, полученного при лазерно-порошковой наплавке. Установлено, что в зависимости от технологических режимов наплавки можно получить покрытия с микрокристаллической, аморфно-кристаллической или аморфной структурой. Проведены испытания на коррозионную стойкость и изнашивание. Установлено, что для деталей, работающих в агрессивных средах и в условиях абразивного изнашивания, целесообразно применять наплавленные слои с аморфно-кристаллической структурой.

Ключевые слова: лазерная наплавка, сплавы на основе никеля, структура, коррозионная стойкость, износостойкость

Лазерный луч (как высококонцентрированный источник энергии) имеет большие технологические возможности при выполнении сварочных и наплавочных работ. Особый интерес при лазерной наплавке представляет возможность получения металла аморфной или микрокристаллической структуры в результате расплавления и последующего сверхбыстрого охлаждения в тонком поверхностном слое. Полученные двухфазные (аморфная фаза + кристаллическая) или микрокристаллические (одна или несколько фаз с очень малым размером зерна) наплавленные слои могут иметь высокую коррозионную стойкость, износостойкость, магнитные свойства, повышенную твердость и т. д. [1–3].

Целью данной работы было выявление закономерностей влияния технологических режимов наплавки сплава на основе никеля на свойства получаемых наплавленных слоев.

Исходный порошок имел следующий массовый состав: Ni — основа; Fe — 40 %; В — 4; Cr ≤ 1; Al ≤ 0,5; C ≤ 0,2; Si ≤ 1. Наплавку материала выполняли в защитном газе CO₂-лазером непрерывного действия с генерацией инфракрасного излучения и длиной волны 10,6 мкм. Базовым экспериментальным оборудованием служил лазерный технологический комплекс «Комета-2М» с номинальной мощностью 1 кВт. Тепловой источник перемещался со скоростью 4... 10 мм/с, обеспечивая получение наплавленных валиков шириной 0,5... 1,5 мм и высотой до 1 мм. Для фокусировки излучения использовали линзу с фокусным расстоянием $F = 300$ мм. Наплавку проводили на плоскую поверхность образца из Ст3, предварительно очищенную от окалины на шлифовальном станке. Наплавляемый порошок подавался под углом 45° вслед движению образца.

Структурно-фазовые исследования проводили на дифрактометре «Дрон-3», коррозионную стойкость наплавленных образцов определяли при помощи электронного потенциостата П-5848М. Не-

рабочую поверхность образцов изолировали кислото- и щелочноустойчивыми лаками. Испытания проводили в слабокислой, нейтральной и слабощелочной (рН 4,5... 9) средах.

Исследования износостойкости проводили на машине трения конструкции ИПЛ в соответствии

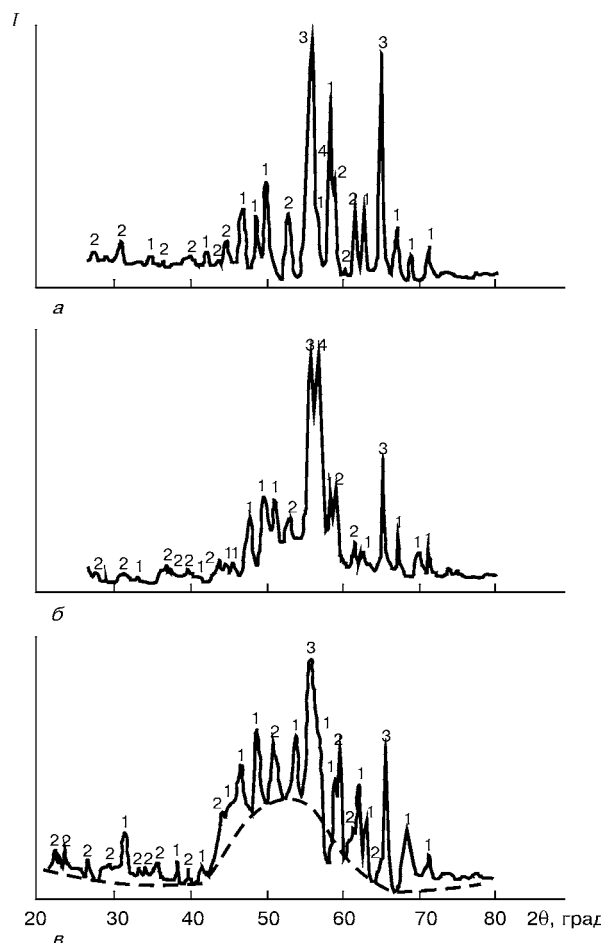


Рис. 1. Рентгенограммы наплавленных слоев из сплава системы Fe-Ni-B: а — микрокристаллическая структура (расход порошка $Q = 0,25$ г/с, скорость наплавки $v = 5$ мм/с); б — аморфно-кристаллическая ($Q = 0,25$ г/с, $v = 8$ мм/с); в — аморфная ($Q = 0,15$ г/с, $v = 6$ мм/с); 1 — Me₃B (ромбическая упаковка атомов); 2 — Me₃B (тетрагональная); 3 — γ-Fe; 4 — α-Fe

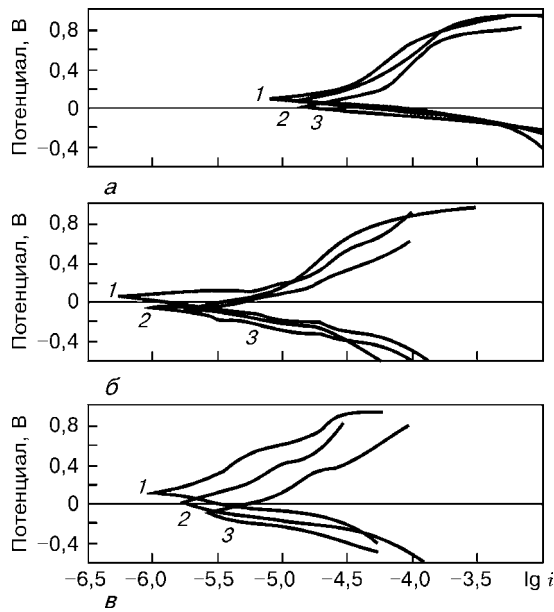


Рис. 2. Электрохимические характеристики наплавленных слоев из сплава системы Fe-Ni-B: а – рН 4,5; б – 7,0; в – 9,0; 1 – аморфная структура; 2 – аморфно-кристаллическая; 3 – кристаллическая; *i* – плотность тока коррозии, А/см

со стандартами 23.201-78, 23.204-87, 23.205-79 и 23.216-84 при трении скольжения без смазки. Испытывали цилиндрические образцы с площадью контакта 10^{-4} м², перемещающиеся по контртелу со скоростью 20 мм/с. Нагрузку на образец изменяли в интервале 5...16 МПа. В качестве материала контртела использовали сталь У8.

На рис. 1 приведены фрагменты рентгенограмм интенсивности рассеяния *I* в интервале углов $2\theta = 0...80^\circ$ (θ – угол Вульфа – Брэгга). Анализ показывает, что структура наплавленного слоя зависит от режимов лазерной наплавки. Слои, полученные при расходе порошка 0,25 г/с и скорости 5 мм/с (рис. 1, а), имеют кристаллическую структуру и состоят из твердого раствора ($\alpha + \gamma$)-железоникелевого сплава и боридов (Fe, Ni)₃B с тетрагональной ($a = 0,863$ нм; $c = 0,437$ нм) и ромбической ($a = 0,441$ нм, $b = 0,522$ нм, $c = 0,662$ нм) упаковками атомов. При расходе порошка 0,25 г/с и скорости наплавки выше 6 мм/с (рис. 1, б), фиксируются метастабильные фазы Me₃B, γ -Fe, однако ярко выраженное аморфное гало отсут-

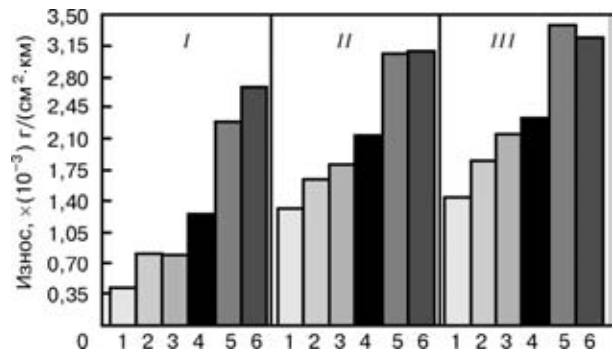


Рис. 3. Суммарный износ наплавленного слоя из сплава системы Fe-Ni-B: I – нагрузка 5,1; II – нагрузка 10,2; III – нагрузка 15,3 МПа; микрокристаллическая структура: 1 – $Q = 0,25$ г/с, $v = 4$ мм/с; 2 – 0,25 г/с, 5 мм/с; аморфно-кристаллическая структура: 3 – $Q = 0,25$ г/с, $v = 6$ мм/с; 4 – 0,15, 6 мм/с; аморфная структура: 5 – $Q = 0,15$ г/с, $v = 5$ мм/с; 6 – 0,15 г/с, 6 мм/с

твует. Таким образом, можно говорить о том, что в наплавленном слое присутствуют как аморфные, так и кристаллические структурные составляющие.

Наплавленные слои, полученные при расходе порошка 0,15 г/с и скорости наплавки выше 5 мм/с, в поверхностном слое в основном имеют аморфную структуру (рис. 1, в). На основе структурного анализа можно предположить, что при наплавке одного валика на данном режиме наплавленный слой имеет аморфную структуру, которая при наплавке соседнего валика претерпевает переход в кристаллическое состояние. Это происходит благодаря тому, что на поверхности наплавленного слоя получается тетрагональный, а не орторомбический борид, который более сферически симметричен ($a = 0,441$ нм, $b = 0,522$ нм, $c = 0,662$ нм), т. е. кристаллизация идет не из расплава, а из аморфного состояния.

Анализ поляризационных кривых (рис. 2) показал, что исследованные наплавленные слои в широком интервале потенциалов ведут себя практически идентично. При анодной поляризации в активной области сила тока линейно зависит от потенциала, а при дальнейшем увеличении потенциала достигается ток насыщения и сила тока изменяется незначительно.

Наплавленные слои имеют высокую коррозионную стойкость. Однако если по потенциалу коррозии они практически одинаковы (табл. 1), то по плотности тока коррозии наблюдается существенное различие (табл. 2). Так, например, в нейтральной среде для слоя с аморфной структурой плотность тока коррозии составляет $5,6 \cdot 10^{-7}$, аморфно-кристаллической – $7,9 \cdot 10^{-7}$, микрокристаллической – $17,7 \cdot 10^{-7}$ А/см², в слабощелочной она увеличивается в 2...3 раза, в кислой – в 10.

Высокая коррозионная стойкость микрокристаллических наплавленных слоев объясняется следующим. Известно, что границы зерен в кристаллических сплавах наиболее подвержены коррозии. Кристаллические покрытия, полученные в результате быстрого охлаж-

Таблица 1. Результаты измерения ЭДС коррозии наплавленных слоев из сплава системы Fe-Ni-B в различных средах

Структура наплавленного слоя	рН 9,0	рН 8,0	рН 7,0	рН 6,0	рН 5,0	рН 4,0
Аморфная	0,048	0,050	0,045	0,041	0,038	0,036
Аморфно-кристаллическая	0,035	0,039	0,033	0,028	0,027	0,020
Микрокристаллическая	0,027	0,031	0,024	0,021	0,017	0,014

Таблица 2. Коррозионная стойкость наплавленного слоя из сплава системы Fe-Ni-B

Структура наплавленного слоя	Плотность тока коррозии, А/см ²		
	рН 4,5	рН 7,0	рН 9,0
Аморфная	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
Аморфно-кристаллическая	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Микрокристаллическая	$11,4 \cdot 10^{-6}$	$17,7 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$



дения, состоят из очень мелких кристаллитов, поэтому удельная поверхность границ в них велика. Однако в процессе быстрого охлаждения флуктуации химического состава не возникают. Поэтому сплавы, полученные путем быстрого охлаждения жидкости, хотя и являются кристаллическими, но не имеют химической неоднородности на границах кристаллитов, что и обеспечивает высокую коррозионную стойкость.

Были проведены испытания износостойкости наплавленных образцов при трении скольжения металла по металлу без смазки. Суммарный износ после 8 ч испытаний наплавленного слоя из сплава системы Fe-Ni-B представлен на рис. 3. Из него видно, что образцы с микрокристаллической структурой обладают в 1,5...2,0 раза большей износостойкостью, чем образцы с аморфной структурой.

Высокие триботехнические характеристики имеют слои с аморфно-кристаллической структурой, наплавленные при изменении расхода порошка от 0,15 до 0,25 г/с и скорости наплавки 5...6 мм/с. Такие режимы обеспечивают формирование высокопрочной и сравнительно пластичной аморфной матрицы с равномерно распределенными дисперсными частицами упрочняющих фаз. Наличие микрокристаллических включений в аморфной матрице повышает твердость и резко улучшает триботехнические характеристики образцов. Слои с аморфно-кристаллической структурой име-

ют достаточно высокое сопротивление изнашиванию, которое тем выше, чем больше дисперсность частиц боридов и равномернее их распределение в объеме наплавленного слоя.

Таким образом, коррозионно- и износостойкие свойства наплавленных слоев из сплава системы Fe-Ni-B зависят от структуры. Важным фактором, позволяющим управлять структурой и свойствами, является выбор технологических режимов наплавки. В зависимости от количества подаваемого порошка и скорости наплавки можно получать аморфную, аморфно-кристаллическую и микрокристаллическую структуры. Максимальная износостойкость наблюдается у наплавленных слоев с микрокристаллической структурой, а высокие коррозионные свойства — у слоев с аморфной структурой. Для работы в условиях абразивного изнашивания в коррозионных средах целесообразно применение наплавленных слоев из сплава системы Fe-Ni-B с аморфно-кристаллической структурой, имеющих высокие коррозионные и износостойкие свойства.

1. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов* / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. — Справочник. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
2. *Мацевитый В. М.* Покрyтия для режyщих инструментов. — Харьков: Вища шк., 1987. — 128 с.
3. *Судзуки К., Фудзимори С, Хасимото К.* Аморфные металлы. — М.: Металлургия, 1987. — 328 с.

Studied were the structure and properties of the deposited nickel-based layer, produced in laser-powder surfacing. It is found that depending on the process modes of surfacing it is possible to produce coatings with a microcrystalline, amorphous-crystalline or amorphous structure. Testing for corrosion resistance and wear was performed. It is found that for parts, operating in aggressive media and under the conditions of abrasive wear, it is rational to apply directed layers with amorphous-crystalline structure.

Поступила в редакцию 10.07.2001