

PACS numbers: 06.60.Vz, 42.62.Cf, 61.43.Dq, 61.72.Dd, 61.72.Ff, 81.16.Mk, 81.20.Vj

Зварювання аморфних матеріалів та нанесення аморфізованих покриттів за допомогою лазерного випромінення

В. Ю. Хаскін, Ю. О. Никитенко, О. В. Сіора, А. В. Бернацький

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,
вул. Боженка, 11,
03150 Київ, Україна,*

Досліджено процеси одержання нерознімних з'єднань з аморфних матеріалів у вигляді стрічок. Доведено можливість одержання зварного з'єднання аморфних стрічок за допомогою лазерного випромінення зі збереженням аморфної структури. Розглянуто можливість формування аморфних і мікрокристалічних покриттів шляхом лазерного нагрівання.

Processes of fabrication of permanent joints of amorphous materials in the form of ribbon are investigated. Possibility of fabrication of welded joint of amorphous ribbons by means of laser radiation with preservation of amorphous structure is proven. Possibility of formation of amorphous and microcrystalline coatings using laser weld deposit is considered.

Исследованы процессы получения неразъемных соединений из аморфных материалов в виде лент. Доказана возможность получения сварного соединения аморфных лент с помощью лазерного излучения с сохранением аморфной структуры. Рассмотрена возможность формирования аморфных и микрокристаллических покрытий лазерной наплавкой.

Ключові слова: лазерне випромінення, аморфні матеріали, зварювання, стикові з'єднання, нанесення аморфних та мікрокристалічних покриттів, лазерне нагрівання.

(Одержано 12 листопада 2008 р.)

1. ВСТУП

Останніми роками спостерігається зростання інтересу до аморфних і метастабільних матеріалів, які мають комплекс унікальних фізико-хімічних властивостей [1]. Вироби з таких матеріалів та захисні покриття з аморфною (квазіаморфною) структурою відрізняються

високою твердістю і корозійною стійкістю, зносостійкістю, унікальними магнетними характеристиками тощо. Дослідження в даній області дозволяють з нових позицій підійти до проблеми підвищення терміну експлуатації виробів, що працюють в умовах зношення тертям та агресивних середовищ.

В даний час основний об'єм матеріалів з аморфною і мікрокристалічною структурою одержують гартуванням струменя розтопу на диску, що швидко обертається (барабан, валки тощо). Такі способи, перш за все, придатні для виготовлення тонких стрічок, фольги, дроту або порошоків. Проте малий перетин перерахованих напівфабрикатів перешкоджає широкому використанню аморфних стопів. Для основної групи матеріалів – конструкційних – така товщина перетинів, що забезпечують несну здатність навантажених конструкцій, у багатьох випадках є недостатньою: потрібно збільшення товщини перетинів до декількох міліметрів або кількох десятків міліметрів [2]. Через малу товщину перетинів напівфабрикатів на практиці часто відмовляються від використання таких важливих властивостей аморфних стопів, як високі зносо- і корозійна стійкість. З метою виправлення такої ситуації перспективним є одержання не лише аморфних, а й мікрокристалічних стопів, які містять метастабільні кристалічні фази, а також аморфнокристалевих композитів, які у ряді випадків за своїми властивостями перевершують аморфні стопи.

В літературі неодноразово наголошувалася необхідність створення масивних виробів з аморфних стопів та одержання покриттів з аморфною і мікрокристалічною структурою [1–6]. Випадок нанесення таких покриттів має економічний вигравш через те, що достатньо тонке покриття дозволяє захистити та зміцнити вже готовий серійний деталь практично без зміни і порушення попередньої технологічної схеми його виготовлення.

Наша робота присвячена дослідженню взаємодії металів з лазерним випроміненням з метою розроблення нових метод одержання нерознімних з'єднань і покриттів з аморфною та квазіаморфною структурою. Об'єктом досліджень є процеси, які відбуваються в оброблюваних матеріалах при взаємодії з лазерним випроміненням евтектичних систем. Предметом досліджень є визначення набору оптимальних технологічних режимів процесів зварювання аморфних матеріалів та нанесення аморфних покриттів за допомогою лазерного випромінення.

2. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона освоєна технологія плазмово-дугового одержання аморфних матеріалів у вигляді стрічок методом надшвидкого загартування з рідкого стану способом спінінгування. В основу

технології покладено плазмово-дугове топлення у мідному водоохолоджуваному гарнісажному тиглі та розливка розтопу через керамічне сопло, розташоване у донній частині тигля. Дана конструкція дозволяє зменшити площу контакту розтопу з вогнетривкою керамікою, що забезпечує чистоту розтопу від неметалічних включень та стабільність процесу при високих температурах розтопу. Плазмово-дугове джерело нагрівання є незалежним та «чистим» відносно до розтопу. Воно забезпечує високу концентрацію енергії, швидкість нагрівання і можливість легкого управління процесом виготовлення аморфних матеріалів (стрічок). В результаті проведених дослідів на модельному стопі (ваг. %): Ni — 88, Si — 7, B — 3,5, Fe — 0,5, Cr — 1, було одержано металеву аморфну стрічку товщиною 30–60 мкм [7].

Виникає задача з'єднання подібних аморфних стрічок для одержання більш широкого спектру напівфабрикатів та готових виробів з швидкозагартованих стопів. Спроби такого з'єднання за допомогою лютування або зварювання можуть призводити до розпаду аморфної структури, утворення крихких кристалічних структур. Для запобігання цьому ефекту необхідно вести зварювання з високими (понад 10^5 К/сек) швидкостями охолодження зварювальної ванни.

Авторами була запропонована технологія лазерного зварювання, в результаті якої після розтоплення і подальшого швидкого охолодження в тонкому поверхневому шарі матеріалу формується аморфна або мікрокристалічна структура. Відповідно до цієї технології були проведені експерименти по лазерному зварюванню аморфних стрічок товщиною 30 й 60 мкм зі стопу Ni–Si–B–Fe–Cr. Експерименти проводилися з використанням випромінювання CO₂-лазера, сфокусованого в пляму діаметром 0,2–0,4 мм. Потужність варіювалась у межах 1,0–3,0 кВт. Використовувались наступні варіанти зварних з'єднань: стикове, стикове з відбортовкою та внапусток. Для підбору режиму зварювання швидкість оброблення варіювали в межах 6–26 м/сек.

Дослідження тонких дислокаційних структур аморфної стрічки



Рис. 1. Дифрактограма та фотографія структури аморфної стрічки (показана структура основного металу); $\times 38000$.

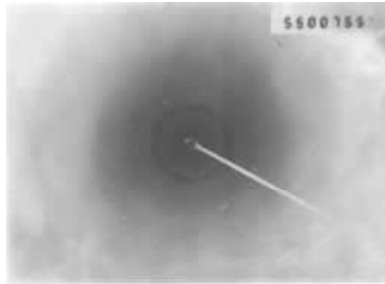


Рис. 2. Дифрактограма аморфної стрічки (основний метал); $\times 55000$.

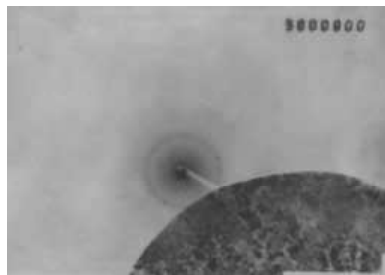


Рис. 3. Дифрактограма та фотографія структури аморфної стрічки після лазерного зварювання (показана структура у місці зварного шва); $\times 38000$.

до та після лазерного оброблення проводили за допомогою електронної просвітної мікроскопії з мікродифракційною аналізою на мікроскопі JEM-200 CX (фірми JEOL Японія). Досліджували структури у зонах основного металу, лазерного провару, а також термічного впливу на основний метал після лазерного оброблення (ЗТВ). Дослідження показали, що основний метал стрічки зі стопу Ni-Si-B-Fe-Cr, що має квазіаморфну структуру, не кристалізується після лазерного зварювання.

Порівняння характерних для аморфних структур гало, зареєстрованих при зйомці основного металу та зони зварного шва із збільшенням $\times 38000$, виявило, що в зоні зварного з'єднання гало виявляється більш чітко. Розмиті основні рефлекси (кільця) з системою крапок, що свідчать про наявність субструктур, виявлені при дослідженні структури основного металу (рис. 1, 2), зникають на дифрактограмі зварного шва (рис. 3). Чітке аморфне гало, яке мало місце у випадку дослідження ЗТВ (рис. 4), свідчить про відсутність критичного перегрівання основного металу при зварюванні стрічок. Наведені результати досліджень свідчать не лише про те, що процес переходу квазіаморфного стопу у кристалічний стан не відбувся, а й про те, що одержані структури мають більш тонкий характер.

Таким чином, на підставі експериментальних досліджень нами

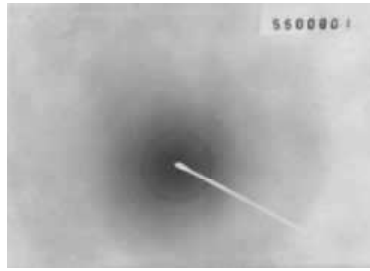


Рис. 4. Дифрактограма аморфної стрічки після лазерного зварювання у місці ЗТВ; $\times 55000$.



Рис. 5. Мікроструктура валика самофлюсного стопу ПГ-12Н-01, натопленого на крицю 08кп лазером ЛТН-103 ($P = 140$ Вт; $V = 100$ мм/хв.); $\times 400$.

була виявлена принципова можливість одержання зварного з'єднання аморфної стрічки за допомогою лазерного випромінення зі збереженням аморфної структури.

Також було досліджено процеси формування аморфних і мікрористалічних покриттів за допомогою неперервного випромінення Nd:YAG-лазера моделі ЛТН-103 (із потужністю до 200 Вт). Процес нанесення покриттів вели в два етапи. На першому етапі попередньо нанесений на крицевий зразок порошковий присаджувальний матеріал притопляли до основного матеріалу (низьковуглецевої криці). Притоплення носило крапельний (острівковий) характер. На другому етапі до натоплених на першому етапі дискретних шарів притопляли суцільний шар присаджувального матеріалу. Недоліком даної технології є схильність до рекристалізації структур першого шару при нанесенні другого. В результаті дрібнокристалічні (іноді аморфні) структури мають місце переважно у верхньому шарі покриття. В сусідніх з основним металом шарах покриття виникають дендритні структури. Загальна товщина покриттів складала 0,1–0,3 мм. При їх нанесенні діапазон варіювання потужності складав $P = 80–150$ Вт; присаджувальний матеріал — порошки самофлюсних стопів системи Ni–Cr–B–Si (фракція 60–150 мкм). Матеріал основи — криця

08кп, товщина зразків 1–2 мм. Оброблення відбувалося у середовищі захисного інертного газу — аргону. Діаметер плями фокусування випромінення на поверхні зразку становив 0,2–0,3 мм. Швидкість оброблення поверхні змінювали у межах $V = 4\text{--}40$ м/год.

Дослідження мікроструктури нанесених покриттів дозволяють припустити одержання квазіаморфних структур на поверхні зразків. Характерний вигляд мікроструктури одержаних шарів показаний на рис.5. З нього видно, що правий край валика має квазіаморфну структуру (не виявляється щавленням), яка поступово переходить в мікрокристалічну (зліва). В результаті виявлено, що для проведення процесу нанесення дрібнокристалічного (аморфного) покриття потрібна мінімальна потужність лазерного випромінення $P = 130\text{--}150$ Вт при довжині хвилі 1,06 мкм.

3. ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення досліджень із лазерного зварювання стикових та напусткових з'єднань аморфних стрічок, як по довжині так і по ширині, виявлено, що процес переходу аморфного стопу у кристалічний стан у зварних швах і ЗТВ після лазерного зварювання із швидкостями 20000–25000 мм/с не відбувся. Встановлена принципова можливість одержання зварного з'єднання аморфної стрічки за допомогою лазерного випромінення зі збереженням аморфної структури.

2. За результатами експериментів з формування аморфних і мікрокристалічних покриттів за допомогою лазерного випромінення встановлено, що при лазерному нагріванні внаслідок спрямованого твердіння відбувається не повна, а лише поверхнева аморфізація нагрітого шару. Товщина аморфного шару залежить від теплофізичних параметрів матеріалу, що нагрівається, і швидкості охолодження в зоні оброблення. Встановлені залежності між технологічними параметрами лазерного випромінення й розмірами нагрітих шарів.

Одержані результати дозволяють стверджувати, що використання лазерних технологій є достатньо перспективним для зварювання аморфних матеріалів та нанесення аморфізованих покриттів. Подальший розвиток робіт у цьому напрямку є доцільним.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, Ю. А. Никитенко и др., *Проблемы металлургии, сварки и материаловедения*, 4, № 6: 12 (2004).
2. Ю. К. Ковнеристый, *Технология металлов*, № 2: 22 (2001).
3. *Метастабильные и неравновесные сплавы* (Ред. Ю. В. Ефимов) (Москва: Металлургия: 1988).

4. Ю. К. Ковнеристый, Э. К. Осипов, Е. А. Трофимова, *Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов* (Москва: Наука: 1983).
5. И. С. Мирошниченко, *Закалка из жидкого состояния* (Москва: Metallurgia: 1982).
6. И. В. Салли, *Кристаллизация сплавов* (Киев: Наукова думка: 1974).
7. Ю. О. Никитенко, *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии*, 4, вып. 4: 797 (2006).