

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И АМОРФНЫХ СПЛАВОВ

**Павленко А.М., Усенко Б.О., Кошлак А.В., Ермоленко Д.А.,
Нижник А.В.**

*Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина*

Необходимые механические свойства поверхности можно достигать путем включения присадочных материалов в виде порошкообразных наночастиц в процессе формирования наплавленной поверхности, что приводит к упрочнению структуры и улучшению механических свойств [1]. Но проведенные эксперименты по исследованию скоростного охлаждения сплавов показали возможность получения необходимых свойств без применения дорогостоящих материалов в процессе формирования структуры. Необходимые механические свойства наплавленного металла можно достигать применением технологии скоростного охлаждения, что приводит к формированию аморфной структуры. В таблице 1 приведены показатели механических свойств наплавленного металла с добавками присадочных материалов в виде порошкообразных наночастиц.

Таблица 1 – Механические свойства наплавленного металла
в зависимости от метода легирования

Метод легирования	Твердость, HV	Степень износа, г	Коррозионная стойкость, мм/год
Наночастицы оксида алюминия Al_2O_3	622,4	0,87	0,0195
Наночастицы Cu	580,3	0,90	0,0221
Наночастицы карбида кремния SiC	634,8	0,84	0,0165
Наночастицы карбида бора B_4C	690,5	0,78	0,0133
Наночастицы карбонитрида титана TiCN	672	0,86	0,0137

Наиболее значимым фактором, без которого невозможно добиться формирования аморфной структуры является скорость охлаждения наплавляемого металла (интенсивность теплоотвода). Второстепенными факторами, влияющими на процесс аморфизации расплава, и на механические свойства поверхностного слоя, являются толщина наплавляемого слоя и масса наплавляемого металла (массовложение).

Для определения степени аморфизации проводили электронно-микроскопические исследования наплавленного слоя в режиме прямого расширения [2]. Для интерпретации результатов использовали методику, предложенную Y. Waseda [3], для оценки степени аморфизации использовали параметр ближнего порядка r_s , который соответствует прекращению осцилляции функции распределения $g(r)$ и отражает регулярность ближнего порядка. Для аморфных сплавов эта величина составляет около 1 нм [3]. Параметр степени аморфизации указывает, во сколько раз r_s больше кратчайшего межатомного расстояния r_1 .

$$\xi = r_s / r_1 \quad (1)$$

Для быстроохлажденных аморфных сплавов значение параметра степени аморфизации составляет $\xi = 5,5 \pm 0,3$ [3]. Значение параметра ξ дает эффективную возможность для определения степени регулярности структуры ближнего порядка при общей микроскопической неупорядоченности сплава.

Выполненные расчеты позволили определить значения скорости охлаждения металлов заданной толщины, достаточную для получения аморфной структуры. С помощью этих данных установлены границы определения технологических параметров для дальнейших экспериментальных исследований.

Для определения влияния параметров режима наплавки на степень аморфизации наплавленного слоя обработка экспериментальных данных была выполнена по методике планирования эксперимента второго порядка с ядром 2^3 [4]. В качестве управляющих факторов в экспериментах приняты толщина наплавляемого слоя (кодированное значение X_1), масса наплавляемого металла (X_2), и скорость охлаждения (X_3). Уровни варьирования значений факторов и их кодирование приведены в таблице 2.

В результате обработки данных получено уравнение регрессии, которое показывает влияние факторов на процесс получения аморфной структуры:

$$y = 3,776 - 0,20x_1 - 0,15x_2 + 0,44x_3 - 0,33x_{23} - 0,278x_2^2 + 0,610x_3^2 \quad (2)$$

Таблица 2 – Уровни варьирования значений факторов

№	Наименование фактора	Обозначение	Единицы измерения	Границы определения
1	Толщина наплавляемого слоя	X_1	мм	1,5-3,5
2	Масса наплавляемого металла	X_2	кг/с	0,007- 0,021
3	Скорость охлаждения расплава	X_3	К/с	0-10 ⁴

Для более полного представления о влиянии каждого фактора на степень аморфизации строим гистограмму значимости коэффициентов рис. 1.

Анализ графических зависимостей представленных на рисунках показывает что увеличение скорости охлаждения расплава (x_3) приводит к повышению степени аморфизации, особенно в интервале 1000...10000 К/с, при увеличении толщины (x_1) и массы (x_2) наплавляемого слоя наблюдаем снижение степени аморфизации. Результаты, полученные в результате экспериментальных исследований приведены в таблице 3.

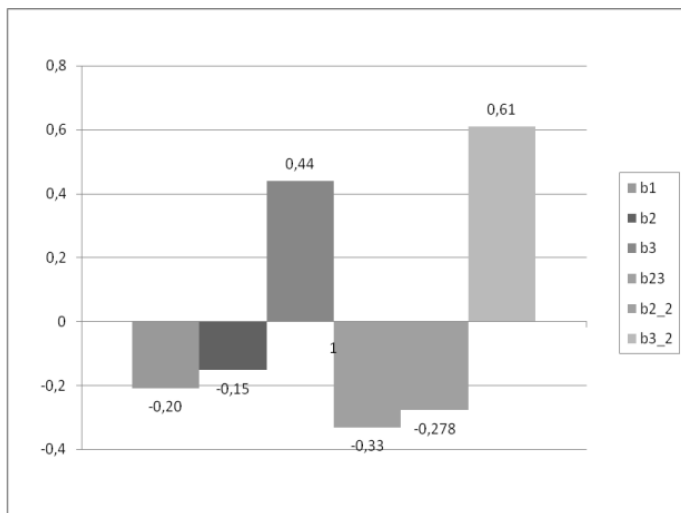


Рисунок 1 – Гистограмма значимости коэффициентов

На рис.2 показан график, характеризующий зависимость степени аморфизации от толщины наплавляемого слоя и массы наплавленного металла при скорости охлаждения 10^4 К/с.

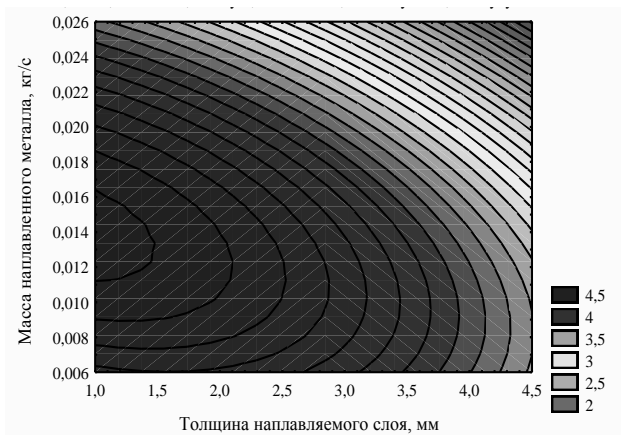


Рисунок 2 - График зависимости степени аморфизации от массы наплавляемого металла и скорости охлаждения

Изменение показателя рассчитывали для определения степени эффективности технологии скоростного охлаждения расплава как аналог использованию присадочных материалов в виде порошкообразных наночастиц (табл.1).

Таблица 3 – Механические свойства наплавленного металла в зависимости от технологических параметров режима скоростного охлаждения

Степень аморфизации	Твердость HV	Изм. показателя, % (табл 1)	Степень износа, г	Изм. показателя, %	Скорость коррозии, мм/год	Изм. показателя, %
$\xi = 3,90$	711,0	14,2%	0,75	13,7%	0,0058	70,4%
$\xi = 4,20$	782,33	32%	0,65	27,7%	0,0041	81,3%
$\xi = 4,27$	770,67	21,7	0,64	23,8%	0,0037	78,1%
$\xi = 4,67$	802,33	16,1	0,56	28,2%	0,0043	68,0%
$\xi = 5,67$	937,67	40%	0,44	49,0%	0,0013	90,0%

Выводы

Необходимые механические свойства поверхности можно достигать путем включения присадочных материалов в процессе формирования структуры. Но проведенные эксперименты по исследованию скоростного охлаждения сплавов показали возможность получения необходимых свойств без применения дорогостоящих материалов в процессе формирования наплавляемой поверхности.

Для создания аморфной структуры можно вводить различные добавки, например медь, алюминий или цирконий. Их наличие снижает барьер скорости охлаждения при которой формируется аморфный слой от 10^6 К/с до 10^3 К/с. В этом случае технология аморфизации будет менее энергозатратной.

Приведенные результаты теоретических и экспериментальных исследований дают возможность прогнозировать степень аморфизации при заданных технологических режимах обработки деталей.

Summary

In this paper energy-efficient technology of high-speed cooling of molten metals and alloys to the formation of amorphous and nanocrystalline structure is considered.

Литература

1. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
2. Аморфные металлы. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К., /Под. ред. Масумото Ц., Пер. с япон. – М.: Металлургия, 1987. 328 с.
3. T. Masumoto, H. M. Kimura, A. Inoue and Y. Waseda: Mater. Sci. Eng. 23 (1976) 141-144
4. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов //К. Хартман, Э. Лецкий, В.Шефер и др.—М.: Мир,1977, 552 с.