

## **СТАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ В ТВЕРДОМ АГРЕГАТНОМ СОСТОЯНИИ**

<sup>1</sup>Яздани – Черати Дж.Х., <sup>2</sup>Марукович Е.И., <sup>3</sup>Ушеренко С.М.

<sup>1</sup>БНТУ, <sup>2</sup>Институт металлов НАН Б, <sup>3</sup>БНТУ.

*j.yazdani.c@gmail.com*<sup>1</sup>, *maruko46@mail.ru*<sup>2</sup>, *usherenko@gmail.com*<sup>3</sup>

**Аннотация.** При взаимодействии порошковых частиц со сталью реализуются интенсивные деформации и изменение химического состава. Сочетание изменений макроструктуры, интенсивных локальных деформаций и легирования вводимыми и синтезируемыми химическими элементами позволяет при последующей термической обработки существенно менять механические свойства композиционной стали.

**Введение.** Сгустки микрочастиц при ударе со скоростями в сотни и тысячи метров в секунду проникают на глубины в десятки и сотни миллиметров. В объеме металлической заготовки возникают многочисленные закрытые элементы структуры. Необычным результатом является дополнительных легирование вводимыми химическими элементами [1]. Размывание по объему преграды вводимого вещества реализуется при трении микроударников в матрице. Такой перенос массы (легирования) в стали является энергозатратным. Доказано, что кинетическая энергия соударения сгустка дискретных ударников с преградой составляет только несколько процентов от общего объема затрат энергии [2]. Объяснения этой аномалии были сконцентрированы на поиске каких-то вариантов эффективного использования кинетической энергии.

Для объяснения значительной энергетической аномалии были выполнены поиски источников дополнительной энергии. Таким источником энергии, обеспечивающим высокий градиент давления внутри объема твердого тела, являются многочисленные микровзрывы [3].

Генерация дополнительной энергии при легировании в твердом агрегатном состоянии возможна только за счет термоядерных микровзрывов по объему металлической (стальной) преграды. Микровзрывы на вдоль множества треков порошковых частиц, которые двигаются в закрытой системе [3]. Этот подход объясняет скачкообразное увеличение глубин проникания сгустков частиц с размерами менее 100 мкм, создание структуры композиционного металлического материала, генерация интенсивного электромагнитного излучения и т.д. [4].

При ударе сгустка порошковых частиц об преграду в ней возникают пульсирующие поля давления. Пульсация вызвана градиентами скорости и плотности в объеме сгустка ударников [5]. После формирования зародыша канала в него разгружается поле давления. Канальный элемент захлопывается по оси. В этой схеме перераспределения энергии существование зон переменного давления в объеме преграды является обязательным условием реализации эффектов сверхглубокого проникновения [4].

В республиках Беларусь и Иран эффективное использование процесса объемного легирования и стальных композиционных материалов на этой основе для армирования горнорезущего и строительного ударного инструмента.

Целью настоящей работы является разработка инструментальных стальных композиционных материалов.

### **1. Экспериментальные результаты по объемному легированию стали в режиме сверхглубокого проникания (СГП).**

Эффекты СГП реализуются в относительно узких диапазонах скоростей соударения (300 – 5000 м/с), при этом размеров ударников (менее 0,5 мм). В диапазоне таких условий стабильно наблюдается скачкообразное увеличение относительных глубин проникания до 100 – 10 000 калибров ударника. Роль иголок, прошивающих металлическую матрицу, выполняют дискретные частицы порошка. Создаваемые структурные дефекты, реализовавшиеся в режиме СГП, имеют характерные отличия. В

частности, наблюдаются включения, аналогичные кремниевым иглам в сплаве алюминий – кремний (рисунок 1).



Рисунок 1 - Игольчатая скобка, возникающая на поверхности шлифа в процессе прошивки (режим СГП) стали сгустками порошка карбида кремния в алюминиевой оболочке, × 400

Результаты микроанализа волоконных элементов, армирующих углеродистую сталь 45, после обработки в режиме СГП приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав волоконного элемента на поверхности вертикального шлифа прошитой в режиме СГП стали 40.

elmt	zaf	Weigh %	atom.%
FeK :	6 .938	61.749	47.684
MnK :	6 920	8 .430	6.618
Si K :	6 .681	21.915	33.648
AlK :	6 .697	6.921	11.063
TiK :	6 .988	0.762	0.686
S K :	0 .834	0.223	0.300
TOTAL		100.000	100.000

## 2. Изменения твердости и износостойкости углеродистой стали, прошитой сгустками порошковых частиц разного состава.

Возможности изменения некоторых механических свойств стали, реализуемых в результате их обработки в режиме сверхглубокого проникания показаны в настоящей работе. Образцы исходной стали до и после динамической обработки пронумерованы: сталь 45 - исходные образцы - №1.1, 1.2.; сталь 45 ← SiC+Ni - №2.1, 2.2.; сталь 45 ← SiC+Sn - №3.1, 3.2 . Выполнялась для всех образцов закалка с температуры 840<sup>0</sup>С и отпуск при 600<sup>0</sup>С в течение 3 часов. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменения твердости до и после термической обработки

№ п.п.	НВ до и после СГП	НВ после закалки с 840 <sup>0</sup> С и отпуска 600 <sup>0</sup> С	Коэффициент упрочнения
1.1	116	640	5,5
1.2	110	640	5,5
2.1	121	667	5,5
2.2	114	640	5,6
3.1	132	653	4,9
3.2	114,5	653	5,7

Износостойкость стали определяли по потере веса при трении закаленной стали об абразив. Потерю веса определяли в одинаковых условиях и за равные периоды времени. Результаты износа по весу и в процентах к исходному показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Потеря веса исходной и легированной стали

№ образцов	Исходный вес, г	Потеря веса, г, %							
		30 мин		60 мин		90 мин		120 мин	
		г	%	г	%	г	%	г	%
1.1	32,0720	0,0611	0,1905	0,0330	0,1029	0,0395	0,1232	0,1379	0,43
1.2	31,7259	0,0483	0,1522	0,0337	0,1062	0,0520	0,1639	0,0401	0,1264
2.1	31,9368	0,1223	0,3829	0,0415	0,1299	0,0402	0,1259	0,0381	0,1193
2.2	31,8550	0,0405	0,1271	0,0443	0,1391	0,0213	0,0669	0,0273	0,857
3.1	31,5690	0,0352	0,1115	0,0207	0,0656	0,0117	0,0371	0,0221	0,07
3.2	31,4780	0,0504	0,1601	0,0401	0,1274	0,0264	0,0839	0,0247	0,08

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что образцы из исходной стали (№1.1 и №1.2) при износе за 2 часа потеряли 0,559% веса. Образцы же из стали 45 ← SiC+Ni (№2.1 и №2.2) за 2 часа потеряли 0,4850% веса. Образцы из стали 45 ← SiC+Sn (№3.1 и 3.2) за 2 часа потеряли только 0,366% веса. Получен следующий ряд потери веса образцов: стали без прошивки – стали прошитые SiC+Ni – стали прошитые SiC+Sn равный 1,52 – 1,325 - 1

**Заключение.** При использовании в качестве дополнительной технологической операцию легирования в твердом агрегатном состоянии прошивку стальных заготовок сгустками порошковых частиц в режиме сверхглубокого проникания обычная сталь преобразуется в композиционный материал:

1. В объеме стали формируются волоконные элементы легированные вводимыми и синтезируемыми химическими элементами;

2. После прошивки стали 45 сгустками порошка и термической обработки незначительно меняется твердость по сравнению с необработанной в динамическом режиме исходной стали – до 4%.

3. После испытаний на износ стали 45, подвергнутой обработкой порошковыми сгустками и обычной закалкой и отпуску, получен следующий ряд потери веса образцов: стали без прошивки – стали прошитые SiC+Ni – стали прошитые SiC+Sn равный 1,52 – 1,325 – 1.

Список литературы.

1. Яздани-Черати Джавад Х., Ушеренко С.М., Ушеренко Ю. С. Объемное легирование стали в твердой фазе/ XIX Харитоновские научные чтения. Экстремальные состояния вещества, Детонация, Ударные волны. Труды международной конференции. г. Саров. В 2-х томах. Под редакцией доктора технических наук А.Л. Михайлова. Т.1. Высокоскоростное метание и соударение. Явление кумуляции. Взрывные технологии. 2017. С.153 – 158.

2. The physics of superdeep penetration phenomenon. J. Owsik, K. Jach, S. Usherenko and other. Journal of Technical Physics, J.Tech. Phys., 49, 1, 3–25, 2008. Polish Academy of Sciences, Institute of Fundamental Technological Research, Warszawa. Military University of Technology, Warszawa.

2. Объемное динамическое легирование стали в твердом агрегатном состоянии. Е.И. Марукович, Ю.С. Ушеренко, Джавад Х. Яздани-Черати, С.М. Ушеренко. 60-я международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности», Материалы конференции, 14-18 мая 2018 г., под редакцией члена-корреспондента НАН Беларуси В.В. Рубанчика. Витебск. Беларусь.- С.345-347.