

## **ДИНАМИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ ПОРОШКОВЫМИ СГУСТКАМИ**

**Яздани-Черати Дж. Х., Шарифзянов В.Г., Ушеренко Ю.С., Ушеренко С.М.**

*Белорусский национальный технический университет,*

*г. Минск, Беларусь, E-mail: j.yazdani.c@gmail.com, usherenko@gmail.com*

### **Введение**

В космическом пространстве накопилось большое количество фрагментов от разрушившихся космических аппаратов, имеющих неопределенную форму, перемещающихся по околоземным орбитам. Фрагменты космического мусора (КМ) имеют размеры от нескольких метров до нескольких микрон. Космический мусор с размерами свыше 100 мм наблюдается и регистрируется. Встреча космических аппаратов (КА) с мелкими частицами опасна, поскольку частицы мусора обладают большими скоростями [1]. Также возрастает вероятность столкновения с элементами космического мусора [2]. Соударения пылевых частиц с металлическими оболочками КА долгое время рассматривались только с позиции эрозии внешней поверхности.

В настоящее время получило широкое признание явление, т.н. «сверхглубокого проникания» (СГП). В многочисленных экспериментах было доказано существование специфической области ударного взаимодействия с микрообъектами (3–100 микрон), в диапазоне которой стабильно наблюдаются глубины проникания в металлические преграды на  $10^2$ – $10^4$  калибров ударника. Поэтому выполнение исследований по выявлению новых опасных факторов поражения сгустками пыли летательных аппаратов, и в первую очередь их систем управления, представляется актуальным.

Благодаря относительно простой методике при скоростях соударения (до 3000 м/с) сгустков микроударников с металлическими преградами удалось зарегистрировать проникание микрочастиц порошка на глубину в десятки и даже сотни миллиметров [3].

Целью данной работы является анализ процесса динамического легирования сталей в твердом агрегатном состоянии.

### **1. Результаты взаимодействия порошковых струй с металлическими преградами**

Внедрение микрочастиц в объеме стального твердого тела происходит в условиях кумуляции поля высокого давления. За счет этого в зоне проникания ударников реализуются динамические фазовые переходы, во время которых сопротивление твердого тела резко уменьшается. Есть основания полагать, что при этом в период незавершенного фазового перехода проявляется состояние сверхпластичности. Особенностью этих процессов является визуализация структурных изменений на макроуровне (рис.1).

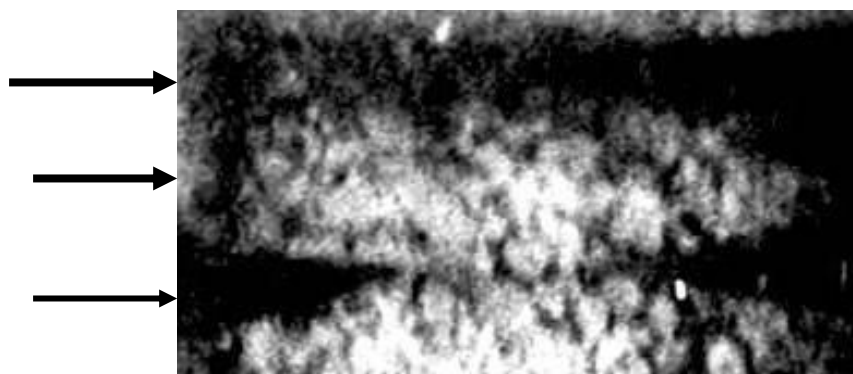


Рисунок 1 – Изменение макроструктуры стали 45 в процессе прошивки струей частиц SiC,  $\times 3$

На микроуровне формируются границы раздела между структурами высокого и низкого давления (рис.2),  $\times 250$ .

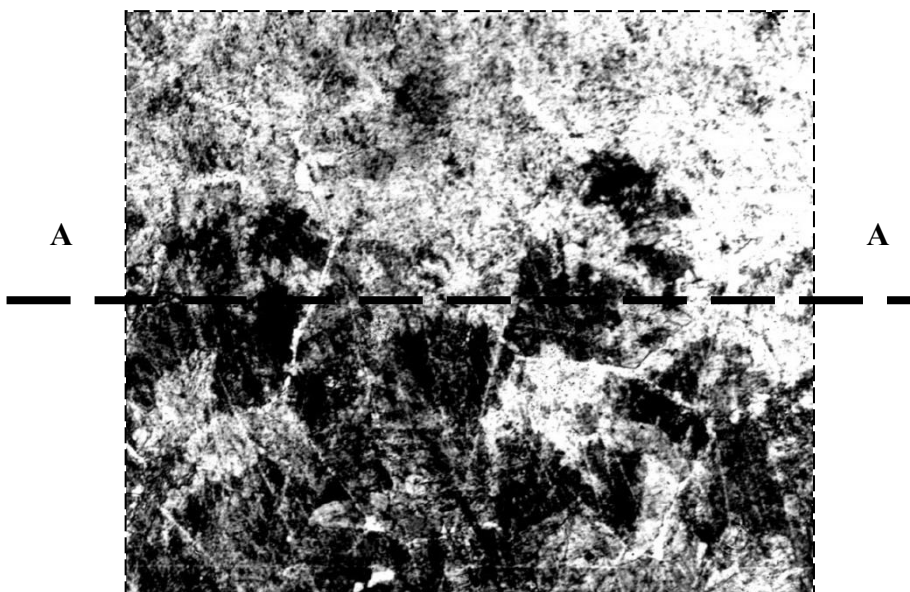


Рисунок 2 – Изменение микроструктуры стали 45 в зоне раздела зон высокого и низкого давления А-А,  $\times 250$

За счет разницы свойств матричной стали и вводимого порошкового материала можно фиксировать напояшлифа остаток вводимого порошка карбида кремния (рис.3)

## 2. Маркировка сталей порошковыми материалами

Процесс легирования сталей в твердом агрегатном состоянии можно реализовать, например, за счет использования режимов сверхглубокого проникания порошковых частиц. Контроль реализации этого процесса можно выполнить при использовании маркерных материалов. В качестве маркерных материалов мы использовали микрочастицы свинца. Такой подход основан на сложности образования сплавов железо – свинец в жидком состоянии.

а – зона взаимодействия железо – свинец.

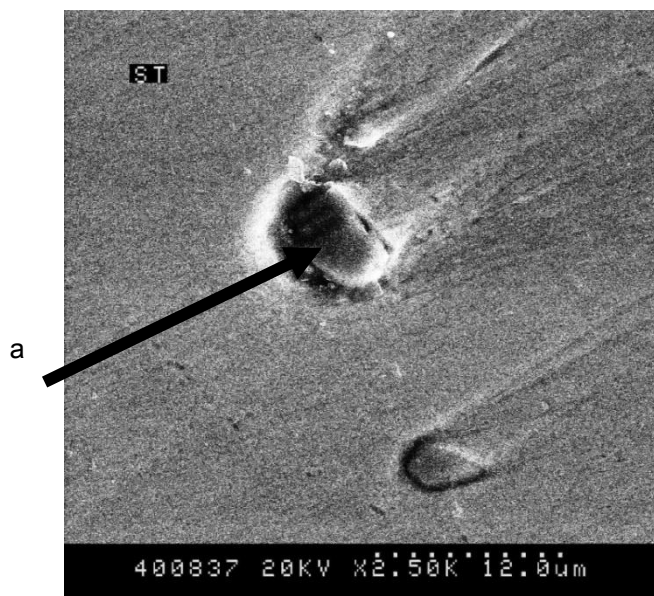


Рисунок 3 – Структура стали 45 без травления в зоне торможения остатка частиц свинца

Из результатов эксперимента с использованием в качестве маркера порошкового свинца (смотри табл.1) следует, что в режиме сверхглубокого проникания твердость ударника не играет заметного влияния на сопротивление движению и на глубину его проникания.

Таблица 1 – Концентрация микроэлементов при СГП (свинец) в % массовых

№ точки	C	Cr	Fe	W	Al	Mn	S	Cu	Pb
Материал до обработки	0,20	0,20	99,6	-	-	-	-	-	-
а	0,20		46,40		0,14	36,03		0,43	16,71

Также очевидно, что при динамическом фазовом переходе должны наблюдаться существенные затраты энергии на активацию значительной массы матричной стали.

Наличие структурной границы между зонами стали с реализованным динамическим фазовым переходом (уровень давления от 10 ГПа) и зоной стали без такого фазового перехода (уровень давления около 0,2 ГПа) (см. рис. 2) показывает возможность интенсивной разгрузки (излучения) в данной зоны.

При обработке сталей в режиме СГП происходят существенное, но и локальное изменение химического состава твердого матричного материала.

### Заключение

В твердом агрегатном состоянии углеродистые стали можно легировать по объему, на глубины в десятки миллиметров в режиме сверхглубокого проникания.

Одним из наиболее эффективных факторов, обеспечивающим скачкообразное снижение сопротивления прониканию микрочастиц в твердое тело, является автомобильный характер динамического фазового перехода, как результат кумуляции поля давления.

Использование частиц вещества, которые в обычных условиях невозможно ввести в объем металлического твердого тела – как маркеров позволяет эффективно контролировать процесс СГП.

### Список литературы:

1.Зеленцов В. В. Проблемы мелкого космического мусора. Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сетевое научное издание. Электрон. журн. -2015.- № 04. -С. 89–104.

2.Новиков Л.С. Частицы космического мусора в околоземном пространстве и методы их изучения//Инженерная экология.-1999.-№4.-С.10-19.

3.В.В. Соболев, С.М. Ушеренко, К.И. Чой. К вопросу о дестабилизации служебных параметров систем управления аппаратов при длительных полетах. Физика и техника высоких давлений. – 2005. –Т. 15, № 3. – С.41-46.

4.В.В. Соболев. С.М. Ушеренко. Синтез химических элементов в экспериментах по взрывному легированию железных сплавов. Информационный бюллетень украинского союза инженеров-взрывников, 2009. -.№ 3. - С.22-29.