

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ P6M5 В РЕЖИМЕ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ

Ушеренко Ю. С.

Филиал БНТУ "Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики"
osher_yu@mail.ru

Аннотация. Динамические эффекты, наблюдаемые при столкновениях, представляют собой специфическую область высокоэнергетического взаимодействия, расположенную на границе механики, гидродинамики, физики ударных волн и чередующихся областей высокого давления. В работе показано, что в объеме твердого металлического тела в результате динамического легирования высокоскоростным потоком частиц порошка в режиме сверхглубокого проникновения (СГП) возникают волокнистые структуры остаточного дефектного материала, образующие каркас композиционного материала. Исследование твердости стали P6M5 показало, что динамическое легирование в режиме СГП порошками SiC+Ni привело к снижению твердости незакаленной стали на 2,7 %, а после закалки – на 3,8 %. В то же время использование смеси порошков TiCN+Ni обеспечило повышение твердости стали P6M5 на 5,6 % и закаленной стали на 4,8 % по сравнению с исходной закаленной сталью P6M5.

摘要。 在碰撞中观察到的动力学效应是位于力学、流体力学、冲击波物理学和交变高压区之间的高能相互作用的一个特定领域。该论文表明，在固体金属体的体积中，由于粉末颗粒在超深穿透模式下与高速流动的动态合金化，出现了残留缺陷材料的纤维结构，形成了复合材料的框架。对高速切削钢 P6M5（中国钢的类似物：W6Mo5Cr4V2）硬度的研究表明，采用 SiC + Ni 粉末在超深熔模式下动态合金化导致未硬化钢的硬度降低 2.7 %，硬化后降低 3.8 %。同时，与原始硬化高速切削钢相比，使用 TiCN + Ni 粉末的混合物使高速切削钢的硬度增加了 5.6%，硬化钢的硬度增加了 4.8 %。

Введение.

Развитие современной техники и технологий в области создания новых материалов, охраны окружающей среды, энергетики неразрывно связано с решением целого комплекса важнейших фундаментальных задач. Одной из таких задач является создание эффективных подходов к созданию новых композиционных материалов с высоким уровнем эксплуатационных свойств, сокращение добычи полезных ископаемых, снижение потребности в невозобновляемом критическом сырье, снижение энергоемкости производства.

Потребность в ресурсах будет продолжать расти в связи с ростом населения планеты, индустриализацией, увеличением спроса со стороны развивающихся стран и переходом к климатической нейтральности с использованием металлов, минералов и биотических материалов в технологиях и продуктах с низким уровнем выбросов. В настоящее время рассматриваются различные варианты

обеспечения бесперебойных поставок ферросплавных элементов. Например, разрабатываются и совершенствуются методы извлечения сырья из отходов горнодобывающей промышленности и металлолома. Другим важным направлением является повышение эффективности использования легирующих элементов, защита инструмента с помощью покрытий, разработка более эффективной формы изделий, снижение использования ферросплавных элементов за счет меньшей концентрации в сталях.

Метод ударных волн является мощным и уникальным инструментом для изучения свойств материалов при чрезвычайно высоких скоростях деформации с хорошо контролируемыми условиями нагружения. Эксперименты с ударными волнами характеризуются широким диапазоном достижимых давлений и температур и чрезвычайно высокими скоростями изменений. Эти обстоятельства открывают уникальные возможности для исследований в области физики фазовых и полиморфных превращений, физики разрушения, прочности и пластичности, а также материаловедения. Кроме того, высокоэнергетические особенности обработки позволяют существенно изменить физические и химические свойства материалов и, следовательно, эксплуатационные характеристики инструментов и деталей. Во время сверхглубокого проникновения (СГП) реализуется множество факторов, одновременно действующих на материал.

Сверхглубокое проникновение (СГП) – это сложное физическое явление. Доли секундный поток частиц порошка с фракцией менее 200 мкм, разогнанный до скоростей 700–3 000 м·с⁻¹, проникает в твердое металлическое тело на глубину в десятки, сотни мм. При этом возникает высокое и сверхвысокое давление (0,2–20 ГПа), интенсивная деформация, локальный нагрев, трение. Динамическое легирование в режиме СГП характеризуется одновременным действием на материал различных физических факторов (высокое давление, значительные градиенты давления внутри твердого металлического тела, зоны интенсивного растяжения и сжатия, температура, радиация). Такое комплексное воздействие происходит в интервале времени 10⁻⁹–10⁻⁴ с, что существенно изменяет условия тепло- и массопереноса. Структура матричного материала в областях сверхвысокого давления измельчается до полной аморфизации. Эти области переплетаются с другими областями матрицы, частицами порошка. В результате образуется поликристаллический армирующий каркас и анизотропный композиционный материал. Это физическое явление происходит только в замкнутой системе. В отличие от классического легирования, СГП вводит легирующие элементы в уже твердое тело и на большую глубину, чем при использовании методов поверхностного упрочнения и ионной имплантации.

Материалы и методы.

Динамическая обработка в режиме SDP проводилась в следующих условиях: средняя скорость частиц 3000 м·с⁻¹, время экспозиции ~400 микросекунд, материал заготовок: быстрорежущая сталь Р6М5 (W 6 %,

Mo 5 %, Cr 4 %, V 2 %, материал частиц порошка – порошок SiC, Ni и TiCN, 50 – 63 мкм.

Экспериментальные результаты.

На рисунке 1 показана структура стали Р6М5 с канальными элементами после динамического легирования в режиме СГП потоком порошка SiC + Ni и последующей закалки.

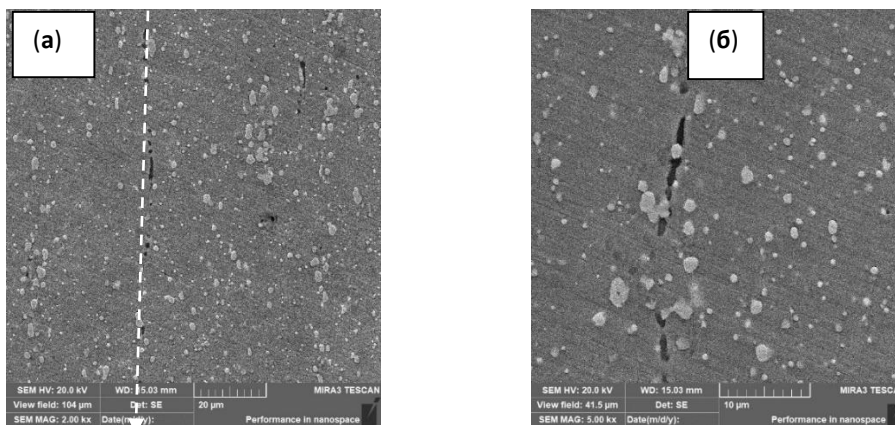


Рисунок 1. Структура стали Р6М5 с канальными элементами после динамического легирования в режиме СГП потоком порошков SiC + Ni и последующей закалки: (а) микроструктура стали Р6М5 с каналами; (б) канальные элементы

На рисунке 2 показан качественный анализ канального элемента. Анализ подтверждает наличие остатков порошковой струи SiC+Ni в канальном элементе.

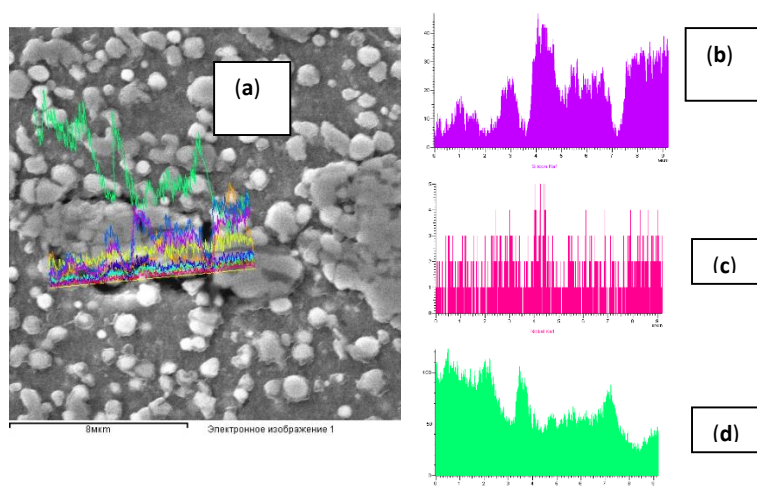


Рисунок 2. Качественный анализ канального элемента структуры стали Р6М5 после динамического легирования в режиме СГП: (а) элемент канала в структуре стали Р6М5 после динамического легирования в режиме СГП; концентрационные кривые распределения элементов: (б) кремний, (с) никель и (д) железо

Таблица 1 – Твердость стали Р6М5

| Образец | НВ средняя До закалки | НРС средняя До закалки | НВ средняя после закалки | НРС средняя после закалки |
|--------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Исходный | 223 | 21,0 | 61,7 | 635,1 |
| 2. SiC + Ni | 217 (-2,7 %) | 20,1 | 59,3 (-3,8 %) | 601,0 |
| 3. TiCN + Ni | 235,5 (+5,6 %) | 22,9 | 64,7 (+4,8 %) | 665,6 |

Исследование твердости стали Р6М5 (табл. 1) показало, что динамическое легирование в режиме СГП порошками SiC + Ni привело к снижению твердости незакаленной стали на 2,7 %, а после закалки - на 3,8 %. В то же время использование смеси порошков TiCN+Ni обеспечило повышение твердости стали Р6М5 на 5,6 % и закаленной стали на 4,8 % по сравнению с исходной закаленной сталью Р6М5. Изменение механических свойств при динамическом легировании косвенно указывает на изменение физических свойств материала, а особенности процесса динамического легирования в режиме СГП должны увеличивать анизотропию обрабатываемого материала.

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗРЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ С ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТЯМИ

Филипеня О. Л., Ткаченко В. В.

Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси
filipock1@yandex.by, tkach@newman.bas-net.by

Аннотация. Предложены простые решения на основе съемного полимерного фильтра для создания стереоустройств, дополняющих 2D-дисплей функциональной возможностью отображения 3D-контента. Предлагаемый на базе этих решений компьютерный тренажер массового использования имеет коммерческий потенциал для увеличения потребительского спроса и стимулирования рынка 3D-технологий.

摘要。 提出了基于可拆卸聚合物过滤器的简单解决方案，用于创建立体声设备，以显示 3D 内容的功能补充 2D 显示器。基于这些解决方案提出的大众化计算机模拟器具有增加消费者需求和刺激 3D 技术市场的商业潜力。

Результаты наших исследований со стереографическими устройствами показывает, что двухпредметная бинокулярная фокусировка доступна для сознательного управления. Основным препятствием для ее практического осуществления является предустановка параметров дивергенции в условиях осмотра окружающего пространства. Сознательное управление дивергенцией способствует комфортному установлению бинокулярной фокусировки на однотипных элементах стереографической иллюстрации.