

ОБЪЕМНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ В ТВЕРДОМ АГРЕГАТНОМ СОСТОЯНИИ**¹Марукович Е.И., ²Ушеренко Ю.С., ³Яздани-Черати Джавад Х., ³Ушеренко С. М.**¹*Институт металлов НАН Б, info@itm.by,*²*Институт повышения квалификации и переподготовки кадров БНТУ, ³БНТУ. info@itm.by, osher_yu@mail.ru, j.yazdani.c@gmail.com, usherenko@gmail.com*

Аннотация. При пульсации переменного поля давлений в стальной заготовке и одновременной прошивки стальной заготовки сгустками микрочастиц реализуется процесс динамического легирования. В зонах взаимодействия микрочастиц и стальной матрицы наблюдается изменение химического состава матричной стали.

Процесс сверхглубокого проникания (СГП) в основном реализуется как легирование стальной преграды по объему сгустками микроударников на глубину в десятки и сотни миллиметров. В объеме стальной заготовки возникают многочисленные закрытые структурные элементы, в которых можно обнаружить химические элементы, вводимые в форме микрочастиц порошка, но, как правило, наблюдают также занос дополнительных химических элементов.

Размывание по объему преграды массы вводимого вещества можно реализовать при интенсивном трении пучков микрочастиц об матрицу, а соответственно за счет интенсивного торможения микрочастиц при трении. Такой вариант переноса массы (легирования) в сталь представляется энергозатратным. В настоящее время возможности объяснить уменьшение сопротивления ударникам при их движении в твердом теле за счет механизмов, позволяющих экономить кинетическую энергию, полностью исчерпаны. Полученные результаты доказывают, что кинетическая энергия соударения сгустка дискретных ударников с преградой составляет только несколько процентов от общего объема затрат энергии [1]. Поэтому основу базовых исследований составили поиски источников дополнительной энергии. Такой источник энергии должен в условиях кумулятивных процессов в объеме твердого тела, а соответственно в условиях высоких градиентов плотности, генерировать дополнительную энергию в форме полей высокого давления, что позволяет объяснить динамический характер массопереноса. Более чем сорока лет особое внимание было сконцентрировано на поиске вариантов эффективного использования кинетической энергии удара дискретных частиц (ударников) при движении в твердом теле [1]. Однако, к сожалению, все предложенные концепции явления сверхглубокого проникновения, в основу которых были положены допущения, что существуют условия скачкообразного уменьшения затрат энергии, оказались не удачными.

Специалистам в области «физики удара» было с самого начала понятна фундаментальность возникшей дилеммы. Или удастся найти необычный механизм эффективного преобразования энергии удара сгустка в энергию движения отдельных ударников, или нужно будет признать возможность реализации в автомобильном режиме процесса генерации дополнительной энергии.

В ходе последующих исследований было установлено, что источником дополнительной энергии, обеспечивающим реализацию сверхглубокого проникновения, является процесс кавитации микро полостей в плотной плазме (термоядерный синтез) [3]. В этом варианте процесса СГП появляется возможность объяснить занос в объем стальной преграды новых химических элементов. Интенсивные динамические процессы также должны менять структурные элементы.

Целью настоящей работы является изучение эффектов динамического легирования сталей в рамках режима сверхглубокого проникания.

1. Особенности массопереноса при прошивке стали в режиме сверхглубокого проникания

В данном случае $HV = 2417 \text{ Дж/м}^3$, т.е. доля плотности энергии вводимой за счет единичного ударника (b_2) составляет 1,4%. Сжатие канала при кумуляции энергии предопределяет потерю массы ударника по глубине, что и наблюдается в прямом

эксперименте. Рассмотрим экспериментальные результаты изменения диаметра каналов, приведенные в работе. Типичный пример такого канала на стальном шлифе показан на рисунке 1.

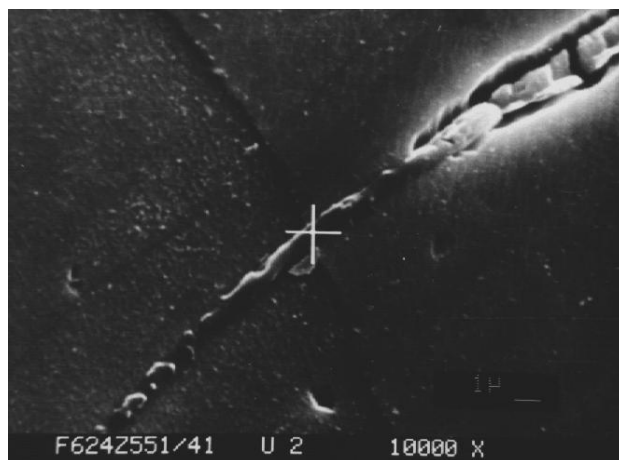


Рисунок 1 - Структура канала в стальной преграде.

За диаметр канала принимается поперечный размер полости с существенно отличающейся от исходного материала преграды травимостью. Избирательная травимость структуры может быть объяснена только наличием высокой дефектности материала канальной зоны, что подтверждается исследованием ее тонкой структуры [1]. Известно, что изменения наблюдаемого диаметра канала (d_k) по глубине имеют периодический характер.

Исследования канальных структур в стали позволили выявить наличие зон без канальной полости. Причем на них виден центральный канальный стержень (рисунок 1). Отсутствие избирательного вытравливания вблизи стержня может быть объяснено только тем, что в этой зоне матричный материал находится в области высоких остаточных сжимающих напряжений. В зонах растягивающих напряжений канальная зона растравливается, образуя на шлифах полости, а в зонах сжимающих напряжений не растравливается.

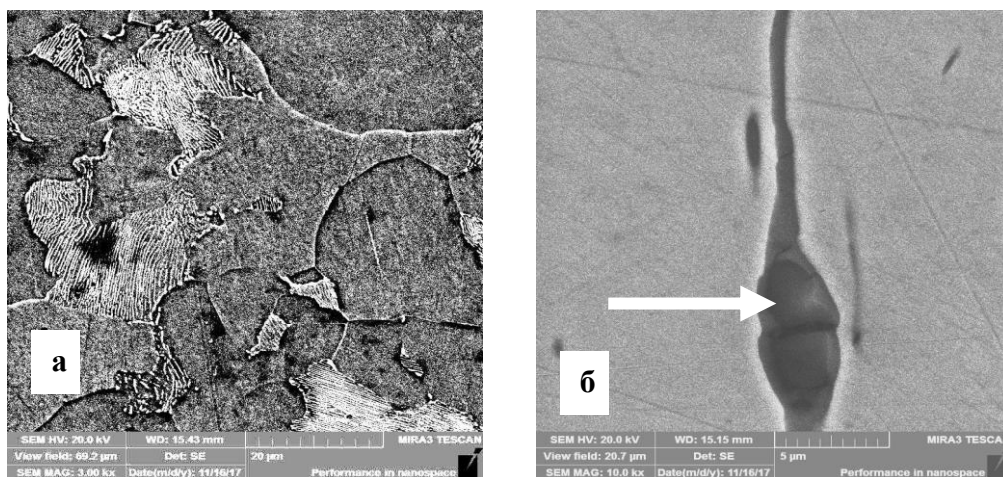
2. Генерация энергии при прошивке стальной защитной преграды в условиях режима сверхглубокого проникания.

При движении в металлической преграде сгустка микрочастиц (порошки) должна генерироваться дополнительная энергия. При этом легирование локализуется и происходит за счет заноса порошковых микрочастиц в канальные волоконные элементы. Есть основания предполагать, что энергия дополнительно генерируемого электрического поля в десятки и сотни раз превышает энергию сгустка пылевых микрочастиц, используемую для их разгона [2].

Формирование активированных канальных зон в стали 10, созданных после обработки на пушечном ускорителе. В исходном материале - сталь 10 активированные канальные зоны отсутствуют (рисунок 2 а).

На рисунке 2б показана структура стали 10 после прошивки сгустком частиц меди и азиды натрия. Сталь 10 после прошивки, приготовления шлифов и их травления является армированным по объему вытравленными специфическими канальными элементами.

Особенностью наблюдаемой канальной микрзоны (показана стрелкой белого цвета) являются размеры, которые существенно превышают размеры типичного сверхглубокого канала. Наблюдаем зону локального микровзрыва, объем которого $\approx 186,8 \text{ мкм}^3$. Длина зоны микровзрыва в канальном элементе составляла $\approx 5,3 \text{ мкм}$. Легирование материалом вводимых частиц и новых химических элементов по канальным элементам может достигать десятки массовых процентов.



Исходная сталь 10 (2 а), сталь после прошивки смесью частиц порошка меди и азиды натрия (2 б).

Рисунок 2 - Сталь 10 до и после прошивки сгустками частиц порошка

В режиме реального времени процесса сверхглубокого проникания происходит размывание вводимого вещества по стенкам формируемого ударником канального элемента. При захлопывании каналов со скоростями ~ 1000 м/с вводимый и матричный материалы взаимодействуют между собой, т.е. реализуется динамический массоперенос и легирование в твердом агрегатном состоянии.

Для создания технологии производства волоконных стальных композиционных материалов требуется выполнить два основных условия. Первое условие при прошивке матричных преград: необходимо обеспечить подвод дополнительной энергии к сгустку дискретных микрочастиц, т.е. необходим эффект генерации. Второе условие - обеспечить введения в армирующие волокна дополнительных легирующих химических элементов, в том числе редких, редкоземельных и радиоактивных изотопов [3].

Заключение.

По результатам настоящего цикла исследований можно сделать следующий основной вывод: в режиме СГП в стальной преграде дополнительная энергия генерируется при микровзрывах в канальных элементах, что сопровождается легированием вводимыми и синтезируемыми химическими элементами.

Список литературы.

1.Регистрация эффектов после действия соударения потока частиц порошка с металлами в режиме сверхглубокого проникания. С.М Ушеренко, О.И.Коваль, Л.Г.Коршунов, В.И.Зельдович. Динамическая перестройка структуры материалов. Кол. Монография – НИИ ИП с ОП, Мн.: 2000. –С. 22-46

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.

3.Ушеренко Ю.С.,Ушеренко Ю.С., Шарифзянов В.Г. Генерация энергии при прошивке алюминия сгустками частиц карбида кремния. Экстремальное состояние вещества. Детонация. Ударные волны. Extreme states of substance. Detonation. Shock waves. Международная конференция XIX Харитоновские тематические научные чтения. International Conference XIX Khariton's Topical Scientific Readings.Сборник тезисов докладов. Abstracts – Саров; ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», 2017. С.с. 203- 205.