

# ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ХРОМОМАНГАНЦЕВОЙ СТАЛИ ИМПУЛЬСАМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕЙТЕРИЕВОЙ ПЛАЗМЫ

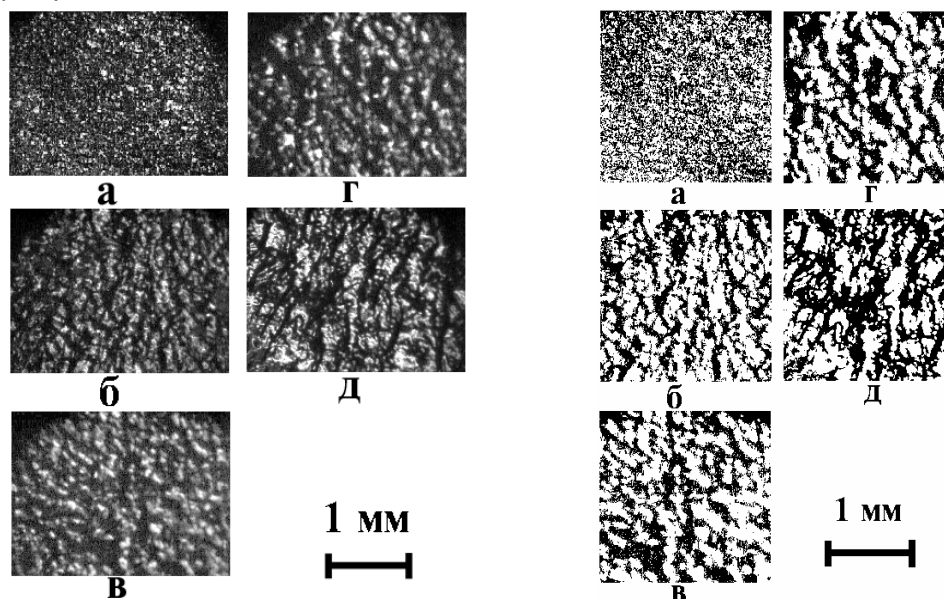
М.Е. Пруцков

*Институт металлургии и материаловедения им .А.А. Байкова РАН*

Малоактивируемая хромоманганцевая аустенитная сталь 25Х12Г20В является перспективным конструкционным материалом для термоядерных реакторов, где она может подвергаться воздействиям импульсов высокотемпературной дейтериевой плазм

Топографическая структура поверхности и структурно-фазовый состав поверхностных слоев в значительной степени определяют многие химические и физические свойства материалов. Особенно необходимо отметить их существенное влияние на механические свойства. В связи с этим количественный анализ состояния поверхности металлических материалов после облучения импульсами дейтериевой плазмы является весьма актуальным.

Привлечение концепции мультифракталов, основанной на использовании общего понятия меры, позволяет давать количественную оценку конфигурации исследуемой структуры в целом, что невозможно достигнуть обычными методами.



*Рис. 1 Общий вид и их дискретные черно-белые изображения изучаемых состояний топографической структуры поверхности после воздействия различного числа импульсов дейтериевой плазмы: а) 1 импульс, б) 4 импульса, в) 8 импульсов, г) 11 импульсов, д) 120 импульсов.*

Исследуемые стали были выплавлены в виде слитков и прокатаны до толщины 0,1 см. Образцы для экспериментов были приготовлены в виде пластин размерами (см): 1,5x1,5x0,1. Эксперименты по облучению проводили с использованием установки «ФЛЮРА». В качестве рабочего газа использовали дейтерий под давлением  $\approx 0,3$  торр.

На рис. 1 показан общий вид изучаемых состояний топографической структуры поверхности после воздействия различного числа импульсов дейтериевой плазмы (а-д) и приведены их дискретные черно-белые изображения.

Размеры зоны воздействия (в виде пятна) не зависят существенным образом от числа импульсов облучения дейтериевой плазмы. Топографическая структура поверхности образцов после облучения представляет собой совокупность большого числа оплавленных микрокапель и имеет волнообразный характер. При воздействии одного импульса на поверхности присутствуют капли с малыми размерами и формой близкой к полусферической. Заметный разброс по размерам и направленность в их расположении отсутствуют. Некоторые капли сливаются друг с другом, образуя более крупные капли неправильной формы. При большем числе импульсов большинство микрокапель сливаются в гребни, вытянутые преимущественно по направлению от центра зоны воздействия дейтериевой плазмы к периферии. С увеличением числа импульсов число неслившихся в гребни микрокапель уменьшается, так что после воздействия 120 импульсов мелких капель в топографической структуре поверхности практически уже нет. С ростом числа импульсов наблюдается также увеличение размеров гребней, как по ширине, так и по длине. В то же время увеличивается число слившихся друг с другом гребней, что при воздействии 120 импульсов приводит к образованию наплывов, имеющих форму полумесяцев или эллипсов соответственно выгнутых или вытянутых в сторону от центра пятна воздействия дейтериевой плазмы к периферии. Такой характер самоорганизации топографической структуры поверхности при воздействии дейтериевой плазмы можно связать с синергетическим влиянием температурного поля (градиент температур направлен от более глубоких «холодных» слоев образца в сторону «горячей» облучаемой поверхности) в сочетании с ударной волной, действующей на расплав. Рассматриваемая ударная волна образуется при инжекции кумулятивной струи из плазмы в момент схлопывания токовой оболочки воронкообразного пинча, а также в материале анода и в прианодной области при аномальном поглощении пучка релятивистских электронов. Под направленным действием указанных факторов оплавленный материал, по-видимому, и приобретает ориентировку рельефа, сохраняющуюся после кристаллизации. Увеличение количества последовательных направленных воздействий на поверхность приводит, таким образом, к получению все более сложно организованной топографической структуры поверхности.

Данные качественного визуального анализа хорошо подтверждаются количественными результатами мультифрактальной параметризации исследуемых состояний топографической структуры поверхности. На рис. 2 представлен характер изменения обобщенной размерности Реньи  $D_{200}$ , степени однородности  $f_{200}$  и скрытой периодичности  $\Delta_{200}$  для состояний топографической структуры поверхности после воздействия различного числа импульсов. Обнаружено, что мультифрактальные характеристики  $(D_{200}, \Delta_{200})$ , а

следовательно и параметры конфигурации соответствующих состояний топографической структуры поверхности, линейным образом зависят от логарифма числа импульсов. Коэффициенты корреляции превышают 0,975. Установление четкой взаимосвязи между числом импульсов и величиной  $D_q$  ( $q=200$ ) отнюдь не случайно, так как характеристики  $D_q$  (иначе называемые энтропиями Реньи) несут некоторую количественную информацию о термодинамических условиях формирования структур. Большие значения  $D_q$  (при  $q>1$ ) соответствуют большим значениям энтропии. Увеличение показателя  $\Delta_{200}$  с ростом числа импульсов дейтериевой плазмы показывает, что в структуре становится больше периодической составляющей. Возрастание  $\Delta_{200}$  означает, что с увеличением числа импульсов дейтериевой плазмы система накачивается информацией (негэнтропией) и в топографической структуре поверхности возрастает степень нарушенной симметрии. Таким образом, самоорганизация топографической структуры поверхности с ростом числа импульсов протекает в сторону усложнения. Показатель однородности  $f_{200}$  топографической структуры поверхности при этом изменяется незначительно. Большой разброс величины  $f_{200}$  связан с возможной нестабильностью параметров воздействия дейтериевой плазмы от импульса к импульсу. В целом, полученные результаты показывают, что механизм исследуемого формообразования поверхности и наблюдаемая с ростом числа импульсов эволюция топографической структуры поверхности носят сложный характер.

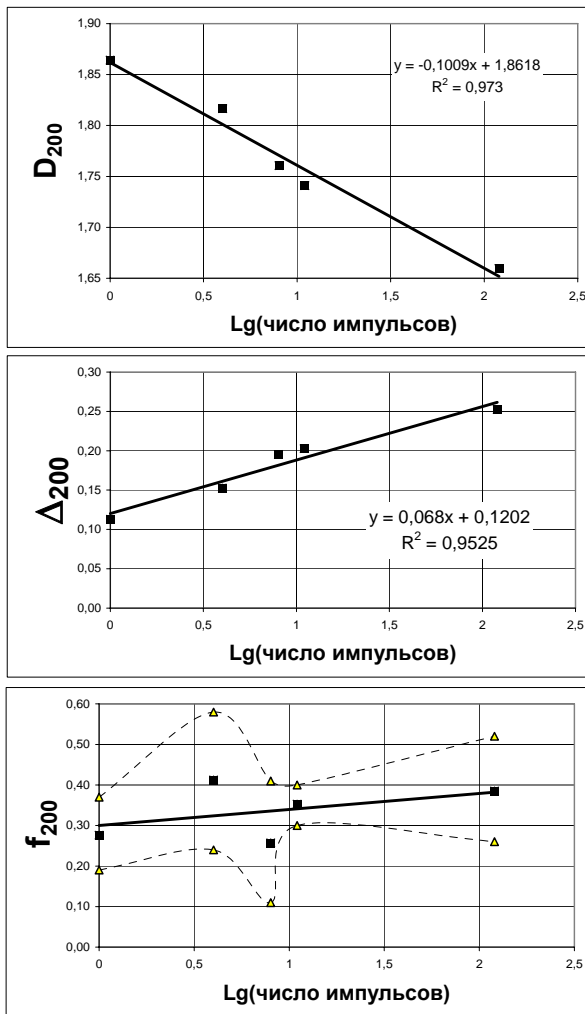
#### Выводы

– Облучение аустенитной хромомарганцевой стали 25X12Г20В импульсами дейтериевой плазмы при длительности импульса  $\approx 10^{-8}$  с и плотности мощности 105...106 МВт/см<sup>2</sup> приводит к оплавлению поверхности и образованию специфического капельно-гребниевое поверхностного рельефа, отличающегося направленным характером. С увеличением числа импульсов самоорганизация топографической структуры поверхности приводит к образованию все более сложного и упорядоченного рельефа.

– Зависимость характеристик топографической структуры поверхности от числа импульсов носит логарифмический характер.

– Заметного перераспределения компонентов в приповерхностном слое не происходит, а микроструктура приобретает мелкозернистый характер. Поверхностное оплавление с последующей закалкой расплава приводит к образованию текстуры кристаллизации в направлении градиента температур.

– Эволюция топографической структуры поверхности, наблюдаемая при многократном импульсном воздействии, сопровождается уменьшением способности материала к диссипации энергии через облучаемую поверхность.



*Рис.2 Характер изменения обобщенной размерности Реньи  $D_{200}$ , степени однородности  $f_{200}$  и скрытой периодичности  $\Delta_{200}$  для состояний топографической структуры поверхности после воздействия различного числа импульсов*

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия отечественной науке, контрактов МАГАТЭ 11943/R0-R2 и программы РАН ОХНМ-03.

Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментов и обсуждения полученных результатов д.т.н. А.Г. Колмакову, д.ф.-м.н. В.Н. Пименову, В.А. Грибкову.