

**МАСШТАБЫ НЕОДНОРОДНОСТИ РАЗНОРОДНЫХ СТРУКТУР В КРУПНЫХ
ПОКОВКАХ ИЗ УЛУЧШАЕМОЙ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Нго Нгок Ха, Кайкибаева А.С., Соколовская Э.А., Кудря А.В.

НИТУ «МИСис», г. Москва, РФ

AVKudrya@misis.ru

Для понимания механизма последовательной, в рамках технологической наследственности, эволюции структур и дефектов необходимы объективные способы их измерения, алгоритмы описания стохастических структур, знание законов распределения характеристик их элементов в различных масштабах. В этой связи, целью настоящей работы явилось развитие методов прямого наблюдения и измерения разномасштабных структур в крупных поковках из улучшаемой стали 38ХНЗМФА, выявление взаимосвязи их строения и оценка их влияния на разброс свойств.

В качестве объектов исследования были использованы изображения дендритного рисунка, серного отпечатка (по Бауману), микроструктуры и изломов в масштабах образцов и изделий трех крупных поковок кубической формы из улучшаемой стали типа 38ХНЗМФА. При удовлетворительных показателях механических свойств для всех поковок, по их сечению наблюдался значительный разброс вязкости и пластичности. Прежде всего, он мог быть вызван неоднородностью рисунка сохранившейся дендритной структуры и дальними последствиями ликвации (неравномерность размещения неметаллических включений и различия в устойчивости аустенита в осях и межосьях, ведущие к появлению разнородных структур). Масштабы дендритного рисунка и различия вязкости могут иметь различную природу. С увеличением толщины осей дендритов, становится больше степень ликвации и, соответственно, степень неоднородности конечных структур. Чем длиннее оси дендритов (а с ними и межосные промежутки), тем легче путь трещины по полоскам «плохой» структуры. Конфигурация дендритного «скелета» наряду с размерами определяет и размещение неметаллических включений (НВ), скопления и «пустыри» которых, лимитируют различия в условиях зарождения и протекания вязкого разрушения [1,2]

В работе были измерены и сопоставлены изображения макро- и микроструктур, серных отпечатков (по Бауману), в масштабах изделий, а также апробирована техника последовательного получения изображений: неметаллических включений на металлографическом шлифе, серного отпечатка по Бауману, микро- и дендритной структур в одной и той же плоскости шлифа, параллельной плоскости излома образца на растяжение.

На изображениях дендритной структуры поковок наблюдалось три зоны, отличающихся своим строением: периферийная, где оси столбчатой структуры примерно перпендикулярны поверхности поковки; промежуточная, с мелкодисперсной смесью дендритов; центральная, с грубыми, разно ориентированными дендритами. Эта неоднородность рисунка дендритов получила свое отражение в строении серного отпечатка. Это, в частности, подтверждает статистика полиэдров Вороного, построенных на фрагментах площадью 100 мм² (в масштабах образца), которые были вырезаны в диагональных направлениях поковки.

Оценка неоднородности размеров, кучности, плотности пятен (на серии кадров, площадью 100 мм², вырезанных по сечению поковок) в горизонтальном, вертикальном и диагональном направлениях показала, в частности, что их значения, как правило, уменьшаются от центра к краю поковки.

Для выделения областей скопления серы (тёмных пятен на серном отпечатке) проводили последовательные процедуры «дилатация – эрозия» (рис. 1). Контуры соединенных пятен после проведения последовательных процедур «дилатация-эрозия» соответствовали зонам с маленькими площадями полиэдров Вороного - областям с повышенной кучностью темных пятен серного отпечатка, это позволяет наглядно показать области скопления серы.

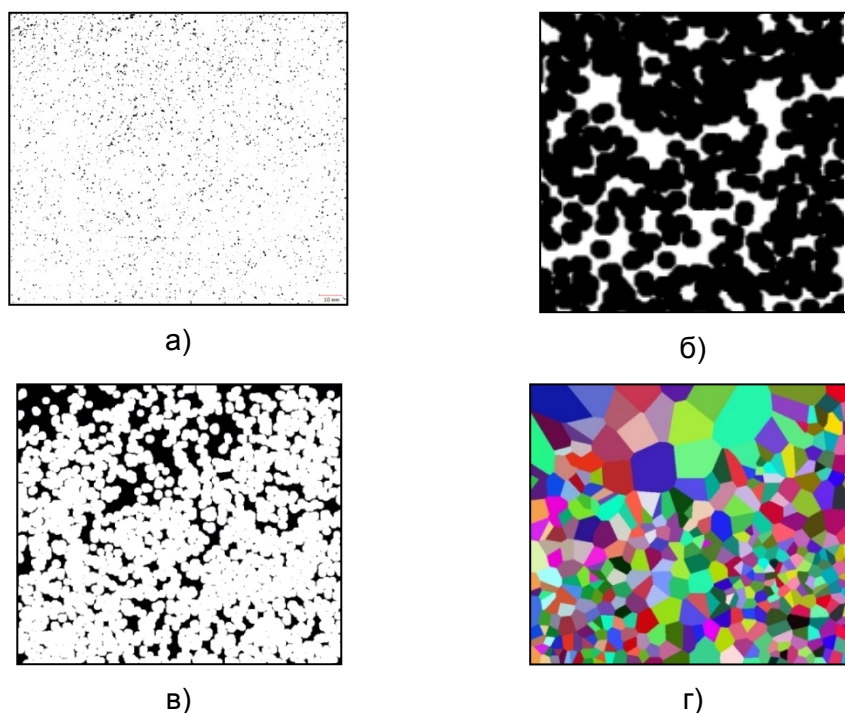


Рисунок 1 - Изображение серного отпечатка (а) после проведения последовательных процедур «дилатация (б) – эрозия (в)» и построения полиэдров Вороного (г)

Дендритная ликвация и неоднородность температурных полей поковки (по сечению) при ее охлаждении формируют неоднородную микроструктуру в поковке (дальние последствия ликвации). Действительно, в микроструктуре поковок обнаружены ферритные поля “белые пятна” поперечником от 20 до 140 мкм (рис. 2).

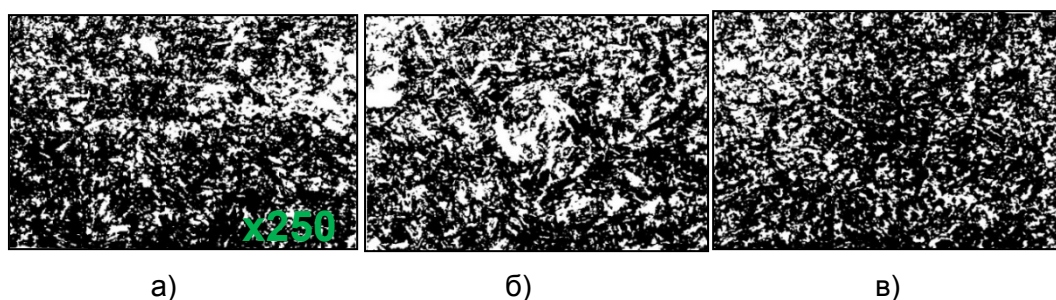


Рисунок 2 - Типичная микроструктура поковки в центральной (а), промежуточной (б) и периферийной зонах (в) поковок

Показано что, зависимость ударной вязкости от средней площади светлой составляющей в микроструктуре имеет линейный характер (коэффициент корреляции $>0,93$). Отсюда очевидно, что дальние последствия ликвации в поковках из стали 38ХНЗМФА (наличие ферритных полей в микроструктуре и неравномерное размещение сульфидов) – причина большого разброса вязкости по сечению поковок.

Последовательная дилатация бинаризованного изображения дала конфигурацию, повторяющую рисунок дендритов [2]. Дилатирование серного отпечатка также прямо указало места расположения пятен – междуетвия дендритов, а последовательное сопоставление изображений разномасштабных структур на одном и том же поле зрения – места локализации ферритных полей. Это указывает на единую, ликвационную, природу формирования неоднородных структур поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА в различных масштабах наблюдения.

Таким образом, прямые измерения разнородных структур позволили установить их взаимосвязь. Это означает, в частности, что масштаб неоднородности первичных структур определяет их эволюцию в ходе последующего технологического процесса (технологическая наследственность). Сопоставление неоднородности изображений структур и изломов на разных масштабных уровнях наблюдения оказалось полезным также для реконструкции сценариев развития событий при разрушении разнородных структур. В целом, полученные результаты показали эффективность применения современных алгоритмов обработки изображений структур для определения причин разброса качества металла с развитой структурной неоднородностью.

Список использованной литературы

1. Сталь на рубеже столетий / Под ред. Ю.С. Карабасова. М.: МИСиС. 2001. С. 445-543.

2 Кудря А.В., Соколовская Э.А. // Известия РАН. Серия "Физическая". 2004. Т. 68. № 10. С. 1495.