

ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗНОМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР В КРУПНЫХ ПОКОВКАХ СТАЛИ 38ХНЗМФА И ИХ РАЗРУШЕНИЕ

Нго Нгок Ха, Нгуен Хоанг Тхань, Кодиров У.Ш., Соколовская Э.А., Кудря А.В.
НИТУ «МИСис», г. Москва, Россия, avkudrya@misis.ru

Отсутствие объективных параметров описания стохастических структур, способов их измерения и законов распределения в различных масштабах затрудняет прогноз свойств неоднородной структуры из описания ее микроскопических составляющих и строения изломов. Однако это принципиально важно для понимания механизма последовательной, в рамках технологической наследственности, эволюции структур и дефектов с целью выявления критических факторов разнородных структур, определяющих разброс пластичности и вязкости. В этой связи, целью настоящей работы явилось апробация методов прямого наблюдения и измерения разномасштабных структур в крупных поковках из улучшаемой стали 38ХНЗМФА, выявление взаимосвязи их строения и оценка их влияния на характер разрушения.

В качестве объекта исследования были выбраны три крупные поковки кубической формы из улучшаемой стали 38ХНЗМФА. В работе были измерены и сопоставлены изображения макро- и микроструктур, серных отпечатков (по Бауману), в масштабах образцов на растяжение (диаметром 20 мм), а также апробирована техника последовательного получения их изображений в одной и той же плоскости шлифа, параллельной плоскости излома: неметаллических включений (НВ) на шлифе, серного отпечатка по Бауману, микро- и дендритной структур.

Отпечатки, предварительно нанесенные на нетравленном шлифе (твердомер ВUENLЕР OMNIMET MHT) при минимальном уровне нагрузки, обеспечивающем их сохранность в процессе последующей работы со шлифами и исключающем воздействие на структуру, были необходимы для совместного анализа разнородных структур в единой системе координат.

В масштабе образцов (\varnothing 20 мм), вырезанных из темплета поковок, были получены изображения структур в цифровой форме, для чего, в частности, исходные кадры с микроструктурой и НВ (на металлографическом шлифе), полученные при $\times 100-500$ и «сшитых» в панорамы (300-400 кадров на образец). Сшивку отдельных кадров в панорамы проводили с использованием системы автоматического анализа изображений Thixomet. Все изображения были подвергнуты обработке по разработанным процедурам бинаризации и фильтрации с целью последующего измерения их геометрии. Для всех образцов были измерены: толщина дендритов и шаг между ними, углы наклона относительно заданного направления, размеры и распределение (на основе статистики полиэдров Вороного) НВ и серного отпечатка, геометрия микроструктур (феррито-цементитной смеси различной морфологии). Обнаружена зависимость между загрязненностью стали неметаллическими включениями и характеристиками серного отпечатка, в частности увеличение объемной доли и плотности НВ сопровождается увеличением объемной доли и плотности пятен серного отпечатка (СО). Это указывает на определяющую роль сульфидов в формировании уровня загрязненности исследуемой стали включениями.

С целью объективной оценки степени взаимосвязи строения разномасштабных структур был разработан алгоритм прямого совмещения изображений микроструктур, СО; дендритной структуры и НВ на одном шлифе (диаметром 20 мм²) в единой системе координат. Это позволило прямо указать места преимущественного расположения темных пятен серного отпечатка – междуветвия дендритов. Крупные области феррита в микроструктуре преимущественно соответствуют координатам осей дендритов в макроструктуре (табл.). Наблюдение изображений разнородных структур в единой системе координат прямо указывает на ликвационную природу и роль технологической наследственности в формировании разнородных структур крупных поковок из улучшаемой стали 38ХНЗМФА в различных масштабах наблюдения. Это важно для прогноза совместного влияния разнородных структур на разрушение.

Таблица - Доля совпадений разнородных объектов структуры на одном шлифе

№ образца	Межосья дендритов в макроструктуре	Оси дендритов в макроструктуре
	Пятна серного отпечатка	Ферритные поля в микроструктуре
1	0,71	0,67
2	0,68	0,63
3	0,71	0,72
4	0,67	0,64

Статистика полиэдров Вороного выявила взаимосвязь в расположении пятен серного отпечатка и ямок в вязких изломах образцов после растяжения, в частности линейную зависимость между коэффициентами асимметрии распределения полиэдров Вороного (по числу соседей) для изображений серного отпечатка и изломов (рис.).

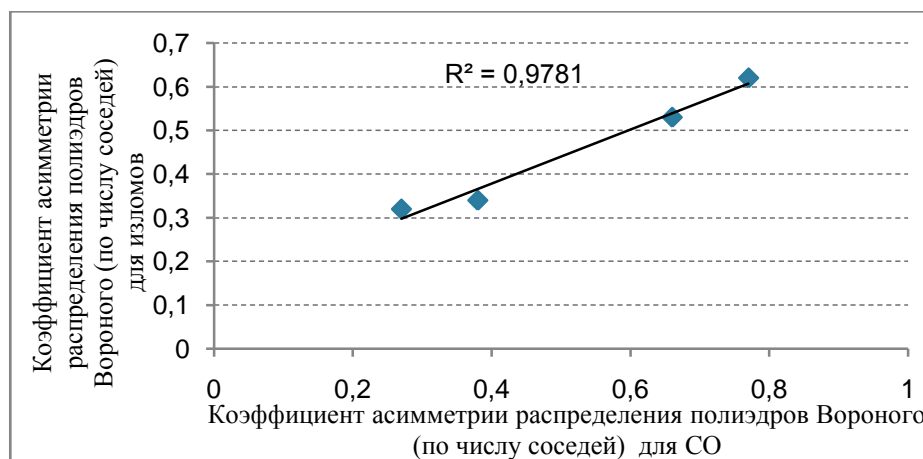


Рисунок - Статистика полиэдров Вороного изображений серного отпечатка и изломов

Фурье-анализ изображений распределения интенсивности яркости изображений (в 256 оттенках серого) излома и соответствующих ему изображений СО и дендритной структуры вдоль четырех секущих выявил в них наличие периодичности.

Неоднородность строения структур, в частности, объемной доли НВ, СО и ферритных участков в микроструктуре (светлой составляющей на бинарном изображении), была прямо связана со строением изломов образцов на растяжение (размахом высот на дне чашки излома образцов на растяжение), коэффициент корреляции $K = 0,74 \pm 0,95$.

Таким образом, прямые измерения разнородных структур в масштабах одного шлифа, позволили установить их взаимосвязь. Это - признак технологической наследственности, что существенно для выделения критических элементов структур.