

УДК:669.017:669.015.003.12

Г.В.Левченко, Т.В.Грицай, С.А.Здоровец

**ВЫБОР МЕТОДА ОЦЕНКИ РАВНОМЕРНОСТИ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ
МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ**

Проведен анализ существующих методов количественной оценки неоднородной зеренной структуры в международной системе стандартов ASTM. Показано преимущество метода случайных секущих. Проведен анализ структуры образцов, отобранных из различного вида проката.

Введение. Самым распространенным видом несовершенства микроструктуры деформированных и затем термически обработанных изделий, особенно изделий сложной формы, является неоднородность зеренной структуры по сечению изделия. Эта неоднородность по своей топографии, природе и причинам возникновения может быть весьма разнообразной. Чаще всего встречающимся видом структурной неоднородности является разнотернистость структуры, т.е. неодинаковость размеров зерен, выходящая за пределы обычного нормального распределения. Разнотернистость, как правило, отрицательно влияет на свойства и часто приводит к большим экономическим потерям. [1]

Во многих стандартах на металлургическую продукцию предъявляются требования к микроструктуре. Это касается не только изделий ответственного назначения из высоколегированных сталей, но также сортового и листового проката, изготавливаемого из конструкционной стали. Например, требования к структуре на листовый прокат строго регламентируются стандартом ДСТУ 2834–94 «Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества общего назначения», «4.2.5. Горячекатаный прокат из углеродистой качественной стали 5–й категории с контролем зерна феррита, величина которого должна быть не крупнее 5–го номера. Неравномерность зерна допускается в пределах трех смежных номеров зернистости».

Постановка задачи. Основной методикой, которой руководствуются при оценке зеренной структуры в странах постсоветского пространства, является стандарт ГОСТ 5639. Но расширение рынка, возникновение нового металлографического оборудования приводит к тому, что стандарт нуждается в дополнениях и изменениях, что уже неоднократно отмечалось [2,3,4]. Зарубежные производители оценивают качество металлопродукции, в основном, в соответствии с требованиями стандарта ASTM E 112. Например, стандарт M 101 «Оси из углеродистой термообработанной стали»: «13.3 Образец должен иметь однородную мелкозернистую структуру с величиной зерна не крупнее номера 5, определенную в соответствии с ASTM E 112 последней версии».

Относительно стандарта M 101 следует отметить, что определение «однородность» отсутствует в данном стандарте. M 101 ссылается на

стандарт, который регламентирует определение только среднего размера зерна. Использовать методики ASTM E 112 при определении равномерности структуры неправомерно. В этом случае следует использовать стандарты ASTM E 930 и ASTM E 1181, которые регламентируют методику определения размеров зерен отличных от основной массы. Поэтому требование стандарта М 101 определять «однородность» структуры является абсолютно субъективным.

Изложение основных материалов исследования. В связи с этим, в настоящей работе был проведен обзор литературных данных и существующей нормативной документации по металлографическому анализу видимого размера зерна различной металлопродукции с целью выбора оптимального метода определения равномерности ее структуры. Сравнительный анализ стандартов ГОСТ 5639 и ASTM E 112, выполненный в работе [5], показал, что использование ГОСТ 5639 дает лишь приближенные представления о величине зерна и не может использоваться для оценки структуры изделий из сталей и сплавов, склонных к образованию разнoзернистости, в особенности тех, в которых структура строго регламентируется. Однако также сделан вывод об отсутствии стандартизированных методов объективной оценки зеренной структуры и необходимости их создания.

Следует заметить, это не означает, что в системе международных стандартов ASTM отсутствуют методики для объективной оценки разнoзернистости микроструктуры. Конечно, использование только методик стандарта ASTM E 112 не позволяет оценить зеренную структуру, т.к. данный стандарт предусматривает определение только среднего размера зерна. Для оценки структуры сталей и сплавов, склонных к образованию разнoзернистости в международной практике используют стандарты ASTM E 930 (измерение отдельных очень крупных зерен в мелкозернистой матрице) и ASTM E 1181 (определение размера зерен в образцах с дуплексными распределениями размеров зерен), которые определяют размерные характеристики аномально крупных зерен.

Согласно ASTM E 1181 (п. 8.6), результаты исследования должны выглядеть как краткое сообщение, в котором указано местоположение крупных зерен, средний размер зерна, средний балл зерна и количественное соотношение основных размерных групп и дополнительно должен быть проведен статистический анализ распределения размера зерна (п. 8.7) в случае разнoзернистой структуры. Наиболее наглядно наличие островной разнoзернистости выявляется, если строить кривые распределения площади, занимаемой на шлифе зернами данного размера. В случае зональной либо строчечной разнoзернистости результаты исследования представляют собой информацию о характере разнoзернистости, количестве размерных групп, с соответствующим средним размером зерна и занимаемой ими площади.

Еще одним преимуществом методов анализа ASTM от ГОСТ 5639, является возможность использования автоматического и полуавтоматического анализаторов изображения структуры, которые строго оговорены в стандарте ASTM E 1382. Стандарт распространяется на определение различных типов структуры (в том числе и разнородной). Согласно основным международным стандартам ASTM и ISO, которые широко используются во многих зарубежных странах, существуют три основные методики оценки зеренной структуры. Это метод сравнения исследуемой структуры материала со стандартными шкалами, планиметрический метод и метод секущих.

Метод сравнения со стандартными шкалами (серией классифицированных изображений), выполненных либо в виде настенной таблицы, либо прозрачных пленочных шаблонов, является наименее трудоемким. Однако, как видно из названия, его применение субъективно, что приводит к значительной погрешности оценки зеренной структуры.

Планиметрический метод заключается в подсчете фактического количества зерен в пределах участка известной площади. Данный метод, основанный на определении средней площади зерна или количества зерен на единицу площади, напрямую связан с общей длиной границ зерен на единицу объема. Поэтому планиметрический метод не несет необходимой информации о распределении площадей занимаемой на шлифе зернами той или иной размерной группы.

Метод секущих предусматривает определение средней длины секущей или количества пересечений зерен на единицу длины. Согласно стандарту ASTM 1382 этот метод является контрольным при наличии противоречивых данных по первым двум методам. Кроме этого, данный метод используется для количественной оценки структур многофазных сталей и сплавов, а также структур неравноосной формы. Одной из разновидностей метода секущих, является измерение длин испытательных линий, пересекающих зерна (т.е. измерение хордовых расстояний между последовательно пересеченными границами зерен, l_i – длина пересечения для конкретного зерна) [ASTM 1382 п. 12.3.1]. Применение этой методики позволяет построить кривую распределения зерен по размерам и определить не только относительную площадь, занимаемую на шлифе, но и усредненный диаметр зерна той или иной размерной группой.

В работе был проведен металлографический количественный анализ структуры металлических образцов с различным топографическим характером разнородности методом секущих. В качестве объектов исследования служили следующие опытные образцы. Образец №1 листового горячекатаного проката из стали марки 08пс. Структура характеризуется зональной разнородностью, при этом наблюдаемые аномально крупные зерна расположены на поверхности (рис. 1а). Образец №2 – отобранный от осевой заготовки для подвижного состава железнодорожных дорог марки 45. Структура характеризуется островной разнородностью –

беспорядочно расположенные по сечению образца отдельные крупные зерна и группы мелких зерен, значительно отличающиеся по размерам (рис.1б). Металлографическое исследование проведено на микроскопе Axiovert 200 M Mat.

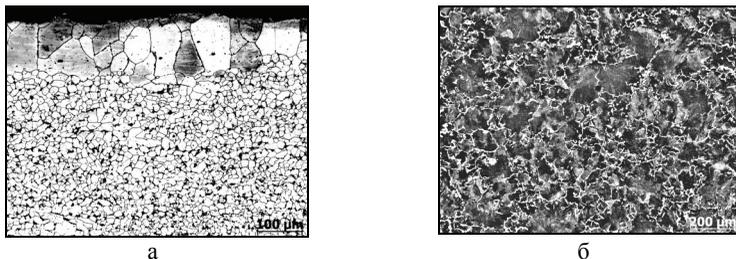


Рис.1 Структура исследуемых образцов, а – тонколистового горячекатаного проката, б – осевой заготовки для подвижного состава железнодорожных дорог

Несмотря на большое преимущество автоматических методов измерения (быстрота измерений, минимизация ошибки, вносимой оператором), в нашем случае они использоваться не могут. Это связано, прежде всего, со сложностью подбора увеличения и необходимого количества статистических данных. Поэтому воспользуемся полуавтоматическим анализатором изображения программы AxioVision Rel. 4.6.

Для оценки ферритной структуры поверхности образца №1 используем метод измерения длин пересечений, согласно ASTM E 1181, т.к. структура самого поверхностного слоя является неравномерной. Зернистая структура поверхностного слоя является заметно удлиненной, поэтому в измерениях используем 4 различные ориентации (например 0, 45, 90, 135). Процедуру повторяем для каждой из пяти фотомикрографий, пока не наберется статистика из не менее 500 измерений (согласно ASTM 1382). Пример вычисления длин пересечений при ориентации 135° представлен на рис.2.

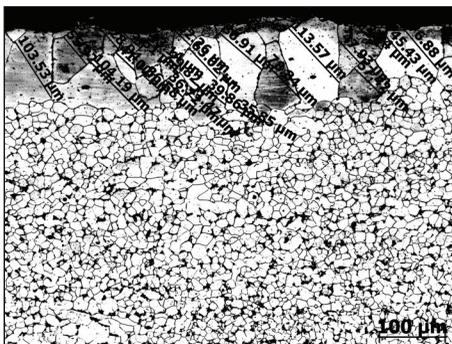


Рис.2 Измерение длин пересечений зерен поверхностного слоя.

Для вычисления средней глубины залегания поверхностного слоя делаем 10 замеров для не менее пяти фотомикрографий. Пример измерения приведен на рис.3.

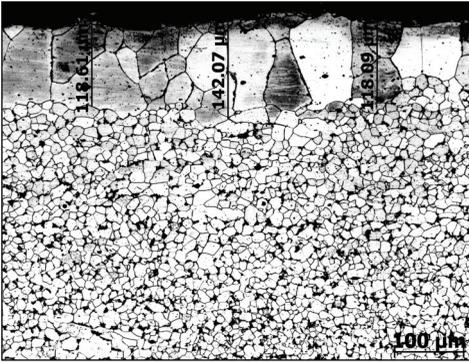


Рис.3 Измерение средней глубины залегания поверхностного слоя

Размер зерна в центральных слоях образца является однородным, поэтому количественный анализ проводим согласно стандарту ASTM E 112 методом секущих с помощью автоматического анализатора AxioVision Rel. 4.6. Пример подсчета представлен на рис.4.

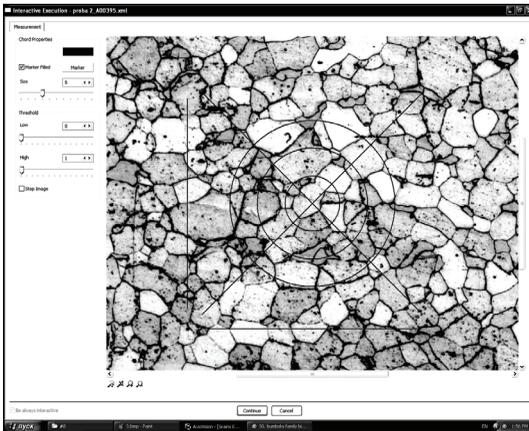


Рис.4 Фрагмент работы автоматического анализатора по вычислению среднего размера зерна

В результате проведенного исследования, было определено, что слой крупных зерен занимает 15% площади исследуемого проката от поверхности. На поверхности расположены зерна 4–го балла. Средний размер зерна центрального слоя составляет 10 мкм, что соответствует 10 баллу зерна.

Для оценки перлитного зерна в двухфазной структуре образца №2 также использовалась методика полуавтоматического подсчета линий пересечений согласно стандарту ASTM E 1181. При этом измерялась только длина испытательных линий, пересекающих интересующие нас зерна. Процедуру подсчета повторяем для каждой из пяти фотомикрографий, пока не наберется статистика из не менее 500 измерений (согласно ASTM 1382). Пример подсчета приведен на рис.5.

По результатам проведенных измерений, построена гистограмма распределения длин пересечений.(рис.6) и диаграмма частоты распределения

длин пересечений (рис.7). Диаграмма четко показывает наличие дуплексного распределения размеров зерна.

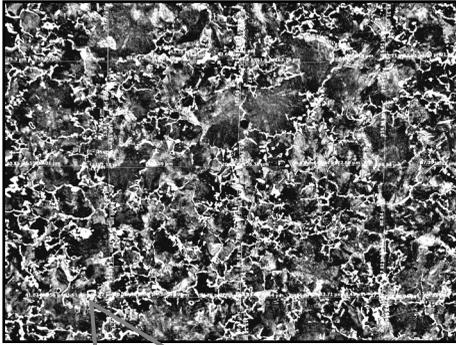


Рис.5 Количественная оценка двух-фазной структуры



Рис.6 Гистограмма распределения длин пересечений



Рис.7 Диаграмма частоты распределения длин пересечений

Согласно полученным данным определено, что крупные зерна занимают 31% площади исследуемого проката (3 балл, 120). Средний размер мелких зерен составляет 31 мкм, что соответствует 6,5–7 баллу зерна.

Вывод Обзор литературных данных и существующей нормативной документации по металлографическому анализу видимого размера зерна различной металлопродукции показал, что наиболее точным и удобным методом оценки не только среднего размера зерна, но и равномерности зеренной структуры образцов различной металлопродукции является метод секущих, в частности метод измерения длин пересечений. Практические измерения показали оптимальность использования данного метода.

1. *Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К.* Физические основы пластической деформации. – М.: Металлургия, 1982. – 579с.
2. *Опыт применения автоматического анализа изображения компании «LECO» для контроля качества металлопродукции / Я. Куна, А.Ю. Борисенко, Р.В. Лебедева и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 2. – С. 58–61.*
3. *Анисович А.Г., Румянцева И.Н.* Современная металлография: от фотолаборатории к компьютерному анализу // Металлургия и литейной производство. – 2007. – С. 305–308.
4. *Проект межгосударственного стандарта «количественные методы определения параметров зеренной структуры в изделиях из специальных сталей и сплавов» / В.С. Вахрушева, Е.Я. Лезинская, В.В. Перчаник и др. // Тезисы докладов. – С.29–30.*
5. *Лезинская Е.Я., Клюев Д.Ю.* Об оценке величины зерна в изделиях ответственного назначения по ГОСТ 5639 // Теория и практика металлургии. – 2002. №2. – С. 60–65.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. И.Г.Узловым*