

## О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНОЙ ПОЛОСЧАТОСТИ В СТАЛЯХ

Ахметова Г.Е. \*, Пережогин В.Ю. \*\*, Соколовская Э.А. \*\*, Смагулов Д.У. \*,  
Кудря А.В. \*\*

\*Казахский национальный исследовательский технический университет  
им. К. Сатпаева;

\*\*НИТУ «МИСис», г. Москва, Россия, perevitayr@mail.ru

Объективное определение масштабов полосчатости в микроструктуре приобретает существенное значение при сопоставлении качества листовых сталей, прогноза их остаточного ресурса [1-4]. Обеспечение единообразного подхода к этой проблеме долгое время регламентировалось ГОСТ 5640-68. В последние годы – в соответствии с ГОСТ Р 54570-2011, где балл определяется на основе стереологических коэффициентов, найденных методом направленных секущих при панорамных исследованиях с помощью автоматического анализатора изображений [5]. Однако при этом, в частности, не оговаривается масштаб измерений, обеспечивающий воспроизводимость результатов измерений. Балльная оценка позволяет различить структуры с различным масштабом полосчатости в микроструктуре, но при этом за кадром остается статистика измерений неоднородности геометрии размеров её элементов. Влияние геометрии полосчатости на разрушение, не всегда очевидно, например, в стали СтЗсп связь между размерами зерна феррита и шагом полос перлита с одной стороны и морфологией вязкого излома (поперечник ямок и периодичность строения его мезорельефа) с другой стороны, была выявлена только на основе Фурье-преобразования их 2D-изображений (в 256 оттенках серого). Однако важность результатов измерения геометрии полосчатости в микроструктуре для прогноза деформации и разрушения листовых сталей очевидна [1-3]. В этой связи оценка факторов, определяющих достоверность и воспроизводимость измерений полосчатости, явилась целью настоящей работы.

Цифровые изображения исследуемых микроструктур представляли собой поля яркости (в 256 оттенках серого), где тёмным фрагментам соответствовал перлит или бейнит, а светлым – феррит переводили в бинарную матрицу вида «1-0» («элемент структуры – фон»). Для выделения однотипных объектов на изображении, например, перлита и удаления шумов (поперечником менее 5 мкм) использовали процедуру фильтрации (рис. 1). В случае неоднородности освещения первичного изображения в кадре применяли процедуру его выравнивания.

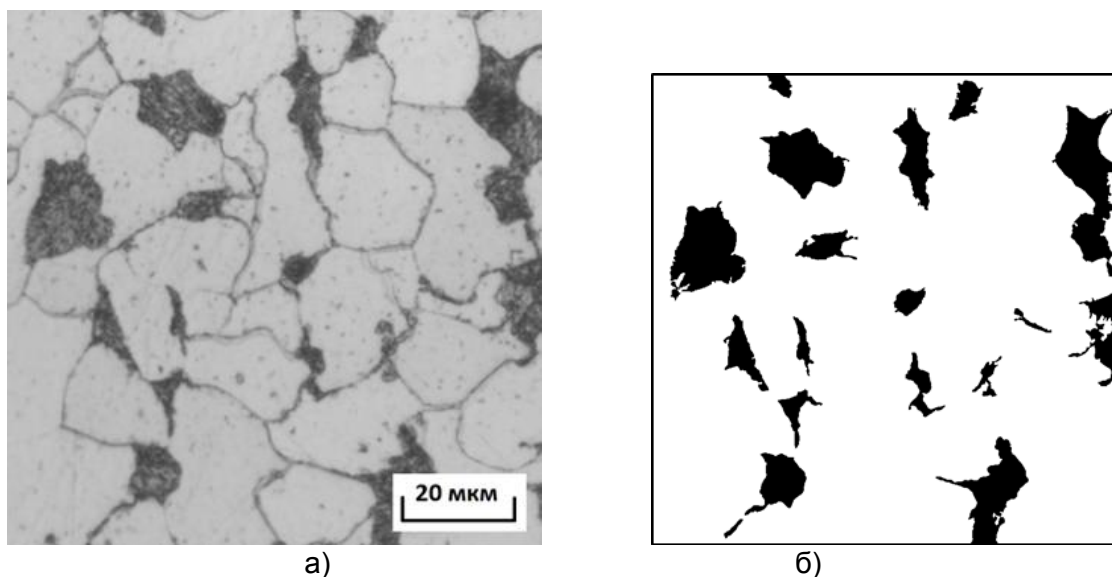
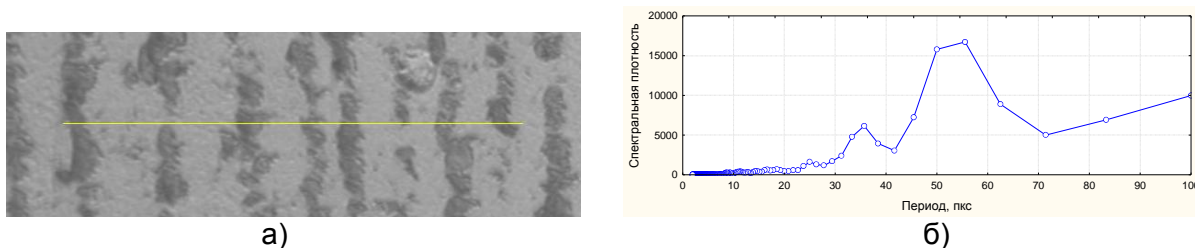


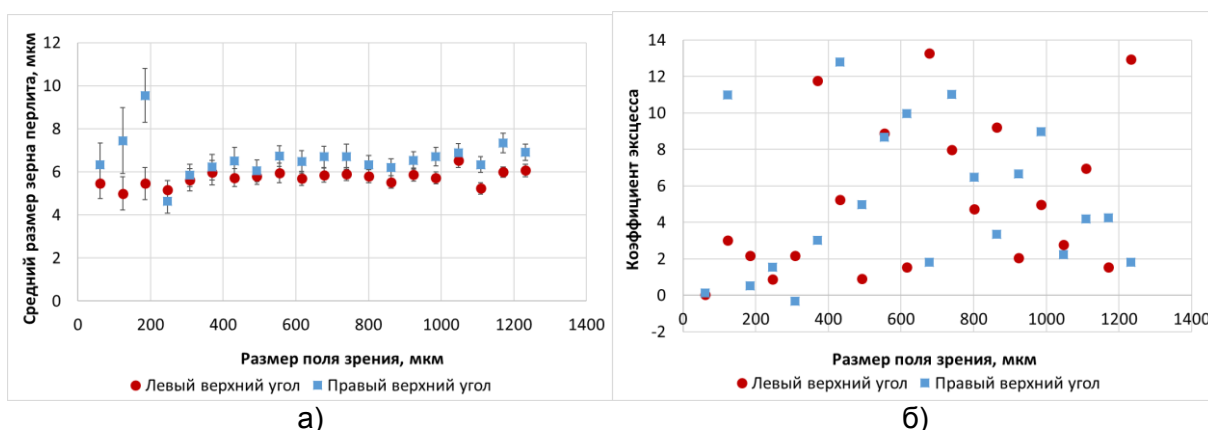
Рисунок 1 - Изображения микроструктуры стали СтЗсп до (а) и после бинаризации и фильтрации (б)

Для выявления периодичности и её определения был выполнен Фурье-анализ интенсивностей яркости вдоль и поперёк полос (рис. 2).



а – секущая; б – график спектральной плотности вдоль секущей  
Рисунок 2 - Фурье анализ кривой распределения интенсивности яркости

Его результаты показали хорошее соответствие с результатами определения полосчатости классическим методом секущих (после бинаризации). После подготовки изображения измеряли параметры геометрии характерных элементов микроструктуры (размеры зерна феррита, шаг полос перлита), определяющих различие в масштабах полосчатости. Практически для всех исследуемых изображений феррито-перлитных структур (различной степени полосчатости) распределение значений параметров геометрии структуры (во всем диапазоне вариации площадей наблюдаемых полей зрения) имеет асимметричный характер. Очевидно, что учет данного обстоятельства приобретает особую роль при переходе к автоматизированным измерениям геометрических характеристик полосчатости в микроструктуре для получения её объективных, статистически значимых оценок (рис. 3).



а – средний размер зерна перлита; б – коэффициент эксцесса  
Рисунок 3 - Вариация статистических показателей в зависимости от масштаба поля зрения

Причиной такого длительного «выхода на насыщение» статистических характеристик распределений является неоднородность микроструктуры по сечению листа, номинально однотипной, но отличающейся своей геометрией. Такое различие в строении микроструктур наблюдается не только в масштабах одного листа, но между листами отдельных партий, вследствие различий в эволюции структур и дефектов в ходе технологического передела в рамках достаточно широкого поля допуска технологии [3].

Из этого вытекает, что использование средних значений и критерия Стьюдента для сопоставления различных выборок результатов измерения геометрических параметров полосчатости содержит в себе известные риски, связанные с отклонением вида экспериментальных распределений от нормального. Для таких случаев эффективным, как показывает практика [6], может быть применение критериев непараметрической статистики, в частности Колмогорова-Смирнова (К-С) (табл. 1).

Таблица 1 - Сравнение баллов полосчатости 0 и 4 для полей зрения поперечником 1,2 и 0,5 мкм

Параметры		Толщина полос перлита		Расст. между полосами перлита		Площадь перлита	
Размер поля зрения, мкм		1200	500	1200	500	1200	500
Стьюдент (n=60)	$\alpha=0,05, t=2,00$	1,466	1,065	1,842	0,607	9,778	0,290
	$\alpha=0,10, t=1,67$	1,466	1,065	1,842	0,607	9,778	0,290
	$\alpha=0,20, t=1,30$	1,466	1,065	1,842	0,607	9,778	0,290
К-С	$\alpha=0,05, K_{\alpha}=1,36$	1,207	1,024	2,402	0,525	4,547	1,456
	$\alpha=0,10, K_{\alpha}=1,22$	1,207	1,024	2,402	0,525	4,547	1,456
	$\alpha=0,20, K_{\alpha}=1,07$	1,207	1,024	2,402	0,525	4,547	1,456

При формировании связности элементов структуры (полосчатость начальных баллов) для их выделения необходимо применение неформальных процедур дилатации и эрозии, отсюда часто бывает предпочтительнее использование линейных характеристик объектов, определенных при их пересечении секущими.

Таким образом, при определении геометрических характеристик полосчатости листовых сталей с использованием компьютеризированных процедур существенную роль играют метрологические аспекты.

**Заключение.** Объективное измерение и сопоставление полосчатости в листовых сталях широкого класса определяется оптимальным выбором её геометрических параметров (с учетом природы объекта), накоплением необходимой статистики наблюдений, определяемой масштабами неоднородности изображения микроструктуры, использованием критериев статистики, учитывающей особенности распределения значений, измеряемых геометрических параметров элементов структуры, формирующих её полосчатость. Это позволяет получить количественные оценки строения полосчатости в микроструктуре листовых сталей, что важно при выявлении её роли в формировании неоднородности качества металла, обеспечивает объективный прогноз остаточного ресурса.

#### Список использованной литературы

1. "Сталь на рубеже столетий". Под ред. Ю.С. Карабасова. М.: МИСиС. 2001. С. 445-543.
2. Прочность сплавов. Часть II. Деформация: Учебник для вузов /Штремель М.А.- М.: МИСиС. 1997. – 527 с.
3. Эфрон Л.И. Металловедение в «большой металлургии». Трубные стали. М.: Металлургиздат. 2012. -696 с.
4. Проскуркин Е. В., Большаков В. И., Дергач Т. А., Петров И. В., Дмитриев В. Б. // Сталь. 2013. № 9. С.60-64.
5. Казаков А.А., Киселев Д.В., Андреева С.В, Чигинцев Л.С., Головин С.В., Егоров В.А., Марков С.И. // Черные металлы. Июль-август 2007. С. 31-37.
6. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Пережогин В.Ю., Ахмедова Т.Ш., Васильев С.Г. // Металлург. 2016. № 12. С. 77-80.