

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цель настоящей работы – разработать методику количественной оценки загрязненности низколегированных трубных сталей неметаллическими включениями баллами, эквивалентными баллам ГОСТ 1778-70, с помощью автоматического анализа изображений.

Методика предназначена для оценки загрязненности неметаллическими включениями листового и рулонного проката, используемого для производства нефтепроводных труб, а также при контроле качества труб и деталей трубопроводов в процессе их изготовления и последующей эксплуатации. Она описывает процедуру стереологических измерений, результатом которых является полученный с помощью автоматического анализа изображений балл, эквивалентный баллу ГОСТ 1778-70 и назначенный с помощью измеренных значений объемного содержания с учетом максимального размера неметаллических включений, обнаруженных на поле с максимальной загрязненностью.

В ГОСТ 1778-70 сравнение с эталонными шкалами производится при увеличении $\times 100$, однако при таком увеличении трудно или невозможно отличить оксиды от сульфидов, а также определить их точные метрические характеристики, поэтому для исследования неметаллических включений в сталях следует использовать более высокие увеличения вплоть до $\times 500$ и выше. Иными словами, необходимо «взглянуть» на ГОСТ 1778-70 «глазами» ASTM E 1245 чтобы иметь высокое разрешение, соответствующее увеличению $\times 500$, но при этом оценивать поле зрения, видимое в окуляры микроскопа при увеличении $\times 100$. Современными методами количественной металлографии с использованием анализатора изображения Thixomet[®] можно проводить измерения при высоком увеличении, а необходимую площадь собрать последовательной прецизионной склейкой «на лету» смежных полей зрения.

Эталонные шкалы ГОСТ 1778-70 были оценены с помощью стереологических измерений, предусмотренных ASTM E 1245, на сканированных копиях изображений этих шкал были измерены: объемный процент неметаллических включений в поле зрения эталона, а также их количество в поле зрения, метрические характеристики и характер взаимного расположения. Эти данные будут использованы для разделения включений по типам, предусмотренным ГОСТ.

Вначале, сравнивая включения по уровню серого между собой и в сравнении с нетравленной матрицей, отделим сульфиды от включений кислородной группы, отнеся к последним все кислородсодержащие включения (оксиды и силикаты).

Из всех включений выделим все строчечные включения, объединив их в группы по характеру взаимного расположения отдельных включений с учетом вытянутости группы включений в строчке. Присоединим к этим включениям другие, но теперь уже единичные строчечные включения (силикаты хрупкие и силикаты пластичные), выделив их по признаку анизотропии отдельных включений. Все эти включения единичные и объединенные в группы оцениваются вместе, как строчечные включения.

Из оставшихся включений выделим крупные включения размером более 30 мкм или более мелкие, но такие, которых в поле зрения не более 8 штук. Эти включения отнесем к силикатам недеформирующимся, тогда остальные включения будут оксидами точечными.

Чтобы определить градуировочную кривую, связывающую баллы ГОСТ 1778-70 с объемным процентом включений по ASTM E 1245, рассмотрим зависимости, построенные на основе результатов «оцифровки» сканированных копий эталонных шкал,

а также примем во внимание зависимости, положенные в основу создания этих шкал.

Для силикатов недеформирующихся диаметр единичных включений согласно теории, заложенной в создание эталонов, равен: 20, 25, 35, 55 и 90 мкм для 1, 2, 3, 4 и 5 балла. В заводской практике часто для назначения балла для силикатов недеформирующихся вместо стандартной шкалы используют прямые измерения диаметра включений, поэтому оставим эту зависимость без изменений.

Введем обозначения: B – балл, эквивалентный баллу ГОСТ 1778-70; V_v – объемная доля включений в поле зрения; A_{\max} – площадь включения максимального размера.

Теоретические зависимости объемного процента сульфидов, всех строчечных включений и включений типа «оксиды точечные» от балла неудовлетворительно описывают точки, полученные при «оцифровке» эталонных шкал ГОСТ 1778-70, поэтому найдем такую функции, которая наилучшим образом описывает эти экспериментальные точки и будем ее использовать для расчета балла:

$$B = 0,94 \cdot \ln \frac{V_v - 0,09}{0,008}, \text{ для сульфидов} \quad (1)$$

$$B = 1,2 \cdot \ln \frac{V_v - 0,04}{0,017}, \text{ для оксидосодержащих включений} \quad (2)$$

Известно, что причиной разрушения металла может стать не только и не столько содержание, сколько максимальный размер отдельных неметаллических включений. Чтобы учесть это обстоятельство при назначении балла, введем проверку соответствия назначенного по объемному содержанию балла предельной максимальной площади включений, предусмотренной для этого балла.

Для силикатов недеформирующихся и сульфидов кривые предельной максимальной площади единичных включений рассчитываются, соответственно, по уравнениям:

$$B = 37 \cdot \exp \frac{A_{\max}}{0,83} + 673, \quad (3)$$

$$B = 329 \cdot A_{\max} + 267. \quad (4)$$

Для всех строчечных включений кривая предельной максимальной площади единичного включения, найденная для силикатов хрупких и силикатов пластичных, рассчитывается по уравнению:

$$B = 156 \cdot \exp \frac{A_{\max}}{1,2} + 657. \quad (5)$$

Сличение результатов оценки, произведенной с помощью анализатора изображения, показало хорошую сходимость с результатами, полученными экспертами-металлографами. Использование анализатора изображения для оценки загрязненности стали неметаллическими включениями для низколегированных трубных сталей позволит значительно повысить объективность назначения балла.