

© А.В. Белоносов, 2012 г.  
ОАО «Уралмашзавод»  
г. Екатеринбург

© Д.С. Чезганов, О.А. Чикова, 2012 г.  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
г. Екатеринбург

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДЕФЕКТНОЙ ЗОНЫ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ СТАЛИ 9Х2МФ**

В практике производства ОАО «Уралмашзавод» при ультразвуковом контроле рабочих валов реверсивного прокатного стана из сталей марок 9Х2МФ и 8Х3СГФ имело место обнаружение зон несплошностей с отражающей способностью эквивалентной  $\varnothing 2-4$  мм местами с полным пропаданием донного сигнала, что является спорным фактом для заключения о соответствии качества валка требованиям ОСТ 24.023.33-86. Как показала практика производства, наличие подобных дефектов является основной причиной выхода валков из строя.

Объект исследования – образцы, отобранные от валка из стали 9Х2МФ, результаты ультразвукового контроля которого оказались спорными и требовали дополнительного исследования. Химический состав стали марки 9Х2МФ включает ванадий (0,01–0,02%), кремний (0,25–0,50), молибден (0,2–0,3%), марганец (0,2–0,7%), хром (1,7–2,1%) и серу (не более 0,03%). Из бочки валка был вырезан поперечный макротемплет, а уже из него отобраны пробы, отвечающие согласно данных ультразвукового контроля дефектной области. Актуально выяснить, какие особенности микроструктуры рабочих валов прокатного стана из стали марки 9Х2МФ определяют указанные характеристики затухания ультразвуковых колебаний при контроле их качества. Авторы предположили, что наличие неметаллических включений и разнотекстурная структура с выраженной текстурой может повлиять на акустические свойства валка, создавая дополнительные источники рассеивания ультразвуковых колебаний и ослабляя амплитуду полученного отраженного сигнала.

Изучение строения образцов проведено традиционными методами металлографии с помощью рабочей станции Auriga CrossBeam. Дополнительно применяли сфокусированный ионный пучок для пробоподготовки, рентгеновский микроанализ (EDS) для выявления элементного состава включений, дифракция обратно рассеянных электронов (EBSD) для изучения кристаллического строения металла,

отобранного из дефектной области. Исследования выполнены на базе ЛНМК ОАО «Уралмашзавод» и ЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕН УрФУ.

В результате качественного металлографического анализа обнаружено три типа дефектов, размер которых существенно меньше идентифицируемого средствами ультразвуковой дефектоскопии. Первая группа включений имела характерный размер около 1 мкм и содержала Si, O и Al (рис. 1, *а*). Некоторые включения содержали глобулярные области, обогащенные углеродом. Причина появления данных включений – попадание огнеупорного материала в жидкий металл или скопления продуктов раскисления. Обнаружены также включения сфероидного типа с характерным размером порядка 5 мкм, равномерно распределенные по всей поверхности шлифа (рис. 1, *б*). Для этих включений характерно повышенное содержание Si и O, что свидетельствует об их происхождении – частички огнеупорных материалов. Включения третьего типа – самые крупные, характерный размер порядка – 20 мкм и характеризуются сложной структурой (рис. 1, *в*). В их состав входят частички богатые Si и O в среде, богатой S и Mn. Появление таких включений может быть связано с наличием легкоплавкой эвтектики Fe-FeO-FeS, располагающейся по границам зерен из-за присутствия в металле избыточного количества кислорода и серы. Известно, что кислород снижает температуру плавления эвтектики Fe-FeO-FeS. Неметаллические включения, имеющие отличные от стали упругие характеристики, вызывают рассеяние ультразвуковых волн. Рассеяние зависит от соотношения между длиной волны и размером микронеоднородности. При  $\lambda/d \sim 800$  (мелкие включения) и  $\lambda/d \sim 80$  (крупные включения) коэффициент поглощения пропорционален четвертой степени частоты ( $\lambda > d$ ).

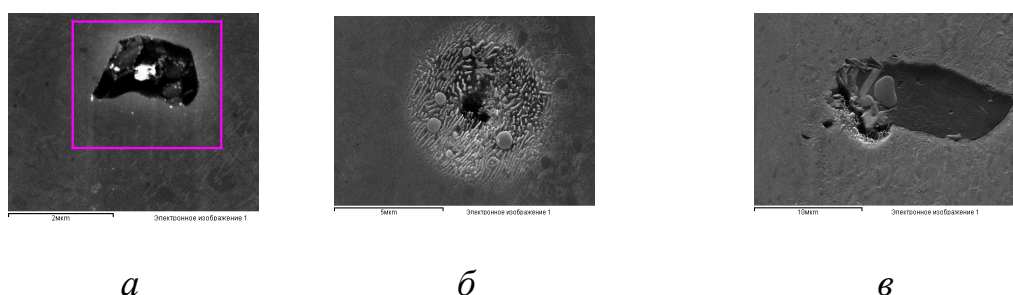


Рис. 1. Микроструктура дефектов стали марки 9Х2МФ

Металлографическое изучение образцов стали марки 9Х2МФ методом дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) показало, что они имеют поликристаллическое строение. Обнаружены области с крупно- и мелкокристаллической структурой (характерный размер кристаллита составляет, соответственно, 10 и 1 мкм). Построены гистограммы дезориентации кристаллитов для крупных и мелких кристаллитов.

Коррелированные разориентации отображают данные разориентации между соседними точками, некоррелированные показывают разориентации между случайными выбранными точками в наборе данных. Теоретическая кривая показывает, что можно было бы ожидать от случайного набора ориентаций. В результате исследований авторы выявили, что коррелированные и некоррелированные разориентации сильно отличаются от теоретической кривой и друг от друга. Разница между некоррелированными разориентациями и теоретической кривой возникает в основном за счет сильной текстуры. Гистограмма коррелированного распределения для мелких кристаллитов показывает большое количество малоугловых границ, т. е. границ с углом разориентации ниже  $15^\circ$ , которые не видны в некоррелированных распределениях. Анализ гистограмм углов дезориентации для крупных и мелких кристаллитов показывает, что в первом случае имеет место большое количество больше угловых границ, во втором случае меньше текстурированность материала. В обоих случаях мы имеем дело с текстурированным металлом, что обязательно скажется на его акустических характеристиках.

По результатам анализа дифракционных картин Кикучи построены карты фактора Шмидта для систем деформаций характерных для  $\alpha$ -Fe:  $\{101\} \langle 111 \rangle$  и  $\{211\} \langle 111 \rangle$  при направлении нагружения  $\parallel$  оси (OX). При наличии внешней нагрузки деформации начнут развиваться в светлых зернах и постепенно переходить на темные. Условные обозначения для карты фактора Шмидта: светлые участки соответствуют более высоким значениям фактора. Как известно, приложенное механическое напряжение  $\sigma$  и напряжение сдвига в системе скольжения  $\tau$  связаны соотношением:  $\tau = m\sigma$ , где  $m = \cos \lambda \times \cos \chi$  – фактор Шмидта (фактор ориентировки),  $\lambda$  – угол между направлением скольжения и ось деформации;  $\chi$  – угол между нормалью к плоскости скольжения и осью деформации. Максимальное значение фактора Шмидта, очевидно, равно 0,5 при  $\lambda = \chi = \pi/4$ . Гистограмма фактора Шмидта (фактора ориентировки) для крупных кристаллитов для системы деформации  $\{101\} \langle 111 \rangle$  имеет два максимума, что свидетельствует о неоднородности его упругих характеристик, в том числе и акустических свойств.