

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ В ЗОНЕ ОТПЕЧАТКОВ ИНДЕНТОРА ПРИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ ДУПЛЕКСНОЙ СТАЛИ

© 2024 г. Кирилл Владимирович Захаров^{1*}, М. Ю. Ширяева¹, В. А. Захаров²,
Г. Т. Бокоев²

¹ – ИСМАН имени А.Г. Мержанова РАН, 142432 Черноголовка,
улица Академика Осипьяна, дом 8

² – РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, Москва, Ленинский пр-т, дом 65
* - zakharov@ism.ac.ru

Обозначена возможность применения коэрцитиметрии для оценки напряженно-деформированного состояния в зоне контакта индентора при инструментальном индентировании системой Frontics дуплексной стали.

Ключевые слова: дуплексная сталь, феррит, индентирование, механические свойства, напряженно-деформированное состояние.

Для оборудования нефтегазового комплекса в качестве конструкционного материала широко применяются стали. В соответствии с [1] сталь – это материал (сплав железа с углеродом), массовая доля железа в котором больше, чем массовая доля какого-либо другого элемента, массовая доля углерода составляет менее 2 %, массовая доля никеля — менее 25 % и в состав которого входят также другие химические элементы. Аустенито-ферритная сталь (коррозионно-стойкая сталь), основу структуры которой составляют две фазы: немагнитная аустенитная фаза и магнитная ферритная фаза. Количество каждой из фаз обычно находится от 40 до 60 %, в связи с чем такие стали называют дуплексными. Основное достоинство дуплексных сталей (высокая прочность) становится существенным и крупным недостатком, когда возникает необходимость изготовления образцов металла для механических испытаний. В этой связи, интерес представляют безобразцовые неразрушающие методы контроля физико-механических характеристик. Наиболее перспективным с этой точки зрения является метод инструментального индентирования. Данный экспресс-метод позволяет в портативных приборах решать задачи контроля и визуализации характеристик материалов сложного состава и высокой прочности. Однако в результате воздействия жесткого наконечника на поверхности образцов в зоне контакта индентора образуются отпечатки, происходит продавливание материала относительно уровня исходной поверхности или выдавливание с образованием навала. Как правило, именно на поверхности сосредоточены максимальные деформации и напряжения, зарождаются дефекты и трещины.

Указанные обстоятельства определили необходимость проведения коэрцитиметрии при инструментальном индентировании системой Frontics в зоне контакта индентора для оценки дефектности и напряженно-деформированного состояния [2].

Образцы дуплексной стали 2205 как объекта контроля и данные стандартных испытаний были предоставлены специалистами АО «ВНИИ НЕФТЕМАШ». Основным элементом в составе исследованных образцов является Fe, содержание прочих химических элементов, мас. %: 22,4 Cr; 1,9 Ni; 3,1 Mo; 0,14 Mn; 0,1 Si; 0,18 N; 0,02 C. Механические испытания выполнены в соответствии с ГОСТ 1497-84, получены следующие характеристики свойств основного металла: $\sigma_{0,2} = 571-595$ МПа, $\sigma_B = 744-760$ МПа. Результаты контроля механических свойств образцов коллектора из стали 2205 системой Frontics: $\sigma_{0,2} = 502,2-611,5$ МПа, $\sigma_B = 740,0-820,0$ МПа. Отпечатки индентора на поверхности образцов после инструментального индентирования и схема замеров коэрцитивной силы (H_c) коэрцитиметром КИМ-2М НПП «КРОПУС» в зоне контактов индентора представлены на рис. 1, результаты замеров – в табл. 1.

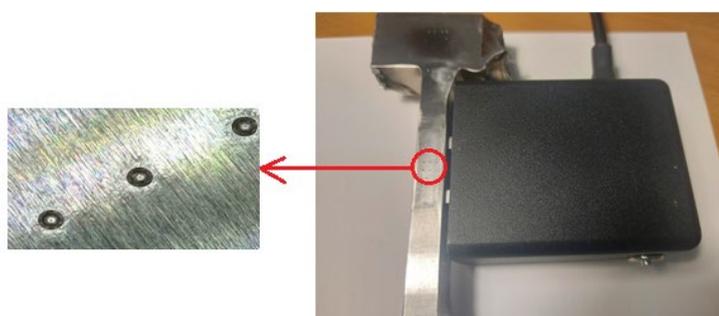


Рис. 1. Схема замеров H_c в зоне контактов индентора и отпечатки индентора (снимок слева, $\times 300$) на поверхности образцов после инструментального индентирования.

Таблица 1

Результаты замеров коэрцитивной силы образцов стали 2205 в зоне контактов индентора

Этапы режимов нагрузки индентора	Величина коэрцитивной силы H_c^* , А/м
Этап без нагрузки индентора	645-666
Этап нагруженного индентора	710-732

* H_c (≈ 680 А/м) – для дуплексной стали в состоянии поставки (www.schmolz-bickenbach.ru).

Таким образом, коэрцитиметрия как магнитный метод контроля текущего состояния образцов из стали 2205 позволяет контролировать величину коэрцитивной силы, которая значительно возрастает с увеличением режима нагрузки и снижается до исходного состояния при снятии нагрузки. На поверхности металла в зоне контакта индентора системы Frontics с исследуемым образцом после индентирования дефектов типа трещин и несплошностей не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. [ГОСТ 34951-2023](#) «Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества». Москва: Российский институт стандартизации, 2023.
2. Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. Магнитный контроль качества металлов. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 264 с.