

УДК 620.179 : 18

**О ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ
МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ МАРКИ
12Х1МФ**

B. A. Бурганова, П. А. Халилеев, Л. В. Кохман,
B. A. Алешин, | Н. П. Кириллов |, B. A. Кузьмина,
P. И. Чемеринская, Л. П. Чуканова

Приведены результаты исследования электромагнитных и механических свойств низтальных труб в зависимости от микроструктуры хромомолибденонадиевой стали после различных технологических операций.

Установлена возможность применения коэрцитиметра и магнатеста для контроля различных структурных состояний нормализованных и отпущеных труб.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

В работе исследованы магнитные, электрические и механические свойства, а также микроструктура котельных труб из стали 12Х1МФ после холодной прокатки по маршруту диаметром $68 \times 6,5 \rightarrow 42 \times 4$ мм и последующих термических обработок. Режим термической обработки труб предусматривает нормализацию от 950—980° С и отпуск при 720—750° в течение 1—3 ч с последующим охлаждением на воздухе. Термическая обработка патрубков длиной 400 мм осуществлялась в лабораторной печи типа Н-15. Первая группа образцов подвергалась нормализации от 950—980° с выдержкой при нагреве 30 мин, затем отпуску при одной из следующих температур: 690, 720, 740, 750, 760, 770, 790 и 800°. При каждой температуре отпуска продолжительность выдержки различалась в одном варианте 1 ч, во втором — 3 ч. Аналогичную обработку прошла вторая группа образцов, но выдержка при нормализации составляла 3 мин.

После каждой технологической операции патрубки испытывали при помощи магнатеста фирмы Ферстера и феррозондового коэрцитиметра конструкции ИФМ АН СССР. Величина питающего первичные катушки тока возбуждения магнатеста обеспечивала в центре пустых проходных катушек напряженность магнитного поля 180 э. Рабочая частота 5 гц. Изображения, получаемые на экране магнатеста, пропорциональны временной развертке разности намагниченности измеряемого патрубка и эталона.

Для магнитных измерений, механических испытаний, а также для определения электросопротивления из патрубков вырезали сегменты размером $270 \times 10 \times S$ мм, где S — толщина стенки трубы. Магнитные измерения выполняли на баллистической установке БУ-3. Коэрцитивную силу определяли методом сдергивания катушки с измеряемого образца, намагниченность насыщения и остаточную индукцию — в пермеаметре сильных полей при напряженности магнитного поля 2000 э. Кривые намагничивания снимали в поле соленоида. Электросопротивление стали измеряли на установке У-303 по схеме двойного моста. Механические испытания производили в соответствии с ГОСТ 1257-61, микроструктура труб оценивалась согласно требованиям МРТУ 14-4-21-67.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав исследованных плавок приведен в табл. 1.

Таблица 1

Номер плавки	Содержание элементов, вес. %									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P
1	0,11	0,24	0,56	1,04	0,30	0,18	0,16	0,16	0,009	0,012
2	0,13	0,24	0,58	1,02	0,32	0,19	0,14	0,15	0,010	0,017
3	0,11	0,25	0,57	1,02	0,32	0,19	0,15	0,16	0,010	0,015
4	0,10	0,26	0,51	0,97	0,32	0,19	0,15	0,15	0,009	0,012

4*

Холоднокатаное состояние. Образцы холоднодеформированных труб имеют высокие прочностные свойства и низкую пластичность (табл. 2).

Таблица 2
Средние значения электромагнитных и механических свойств образцов холоднокатанных труб

Номер плавки	H_c , э	μ_{\max} , $\text{es}^2/\text{э}$	B_r , Гс	I_s , Гс	$\rho \cdot 10^5$, $\text{ом} \cdot \text{см}$	σ_b , $\text{kG}/\text{мм}^2$	σ_t , $\text{kG}/\text{мм}^2$	δ_5 , %	Твердость по Бринеллю
1	10,4	270	8050	1650	2,67	113	103	8	3,6
2	9,1	290	8280	1670	2,63	104	93	9	3,8
3	9,5	280	8230	1650	2,64	108	97	9	3,7
4	8,4	300	8000	1660	2,54	86	79	11	4,2

Приложение. Точность измерения механических свойств составляла $\pm 5\%$.

Наиболее низкие значения коэрцитивной силы и соответственно более высокие значения максимальной магнитной проницаемости получены для образцов плавки 4; прочностные характеристики ее наименьшие, относительное удлинение — наибольшее. Максимальные отклонения от средних значений H_c , μ_{\max} , B_r каждой плавки не превышали $\pm 3\%$.

Нормализованное состояние. При охлаждении на воздухе от 950—980° превращение аустенита в стали 12ХИМФ происходит в феррито-перлитной области ($A_{c1}=770—780^\circ$; $A_{c3}=880—900^\circ$) [1]. Прочностные характеристики после нормализации образцов ухудшились, пластичность повысилась в 2,5—3,5 раза по сравнению с холоднокатанным состоянием. Твердость нормализованных образцов колебалась (в диаметрах отпечатка) от 4,2 до 4,8 мм. Электросопротивление находилось в пределах $(2,54 \pm 0,10) \cdot 10^{-5}$ $\text{ом} \cdot \text{см}$; плавка 4 имела наименьшее значение электросопротивления $(2,45 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$ $\text{ом} \cdot \text{см}$.

Колебания намагниченности насыщения свидетельствуют о присутствии в нормализованной стали остаточного аустенита в количестве не более 5—7% (табл. 3). Отклонения от средних значений H_c , μ_{\max} и B_r достигали $\pm 10\%$.

Таблица 3
Средние значения магнитных и механических свойств нормализованных образцов

Нормализация		Номера плавок	H_c , э	μ_{\max} , $\text{es}^2/\text{э}$	B_r , Гс	I_s , Гс	σ_b , $\text{kG}/\text{мм}^2$	σ_t , $\text{kG}/\text{мм}^2$	δ_5 , %
T , °C	Выдержка, мин								
950	3	1, 2, 3 4	6,0 5,7	360 380	8820 8660	1600 1620	58 54	33 30	28. 32
	30	1, 2, 3 4	5,3 4,9	350 370	7670 7850	1590 1620	61 55	37 32	27 29
980	3	1, 2, 3 4	5,5 5,0	340 380	7550 7540	1620 1620	62 54	39 29	24 32
	30	1, 2, 3 4	5,0 4,2	350 390	7180 7800	1570 1630	58 51	37 31	27 29

Наблюдался разброс значений механических и магнитных свойств различных плавок после одинаковых режимов нормализации, что можно объяснить неоднородностью их исходного состояния, условиями охлаж-

и непостоянством химического состава. Как и в холоднокатаном состоянии, наиболее мягкими в магнитном и механическом отношении были образцы плавки 4. С увеличением температуры и времени выдержки H_c и B_r уменьшались, μ_{max} изменялась незначительно.

Микроструктура образцов, выдержаных при 950° в течение 3 мин, отличалась резкой неравномерностью и состояла из областей мелкозернистого феррита (баллы 6—7, табл. 4), чередующихся с полосами про-

Таблица 4

Изменение показаний коэрцитиметра в зависимости от микроструктуры нормализованных образцов

Нормализация	Номера плавок	Размагнич. ток, ма	Баллы шкалы МРТУ 14—4—21—67
$T, {}^\circ\text{C}$	Выдержка, мин		
950	3	1, 2, 3 4	31 30 5—6—7 (брак) 5—6—7 (брак)
	30	1, 2, 3 4	27 26 3—4 3—6
980	3	1, 2, 3 4	28 26 4—5—6 4—6
	30	1, 2, 3 4	27 25 3—4 3—6

межуточных структур. В микроструктуре стали после других режимов нормализации обнаруживались рекристаллизованные зерна феррита с равномерно распределенными участками промежуточных структур (баллы 3—5, шкала МРТУ). В образцах плавки 4 содержалось большее количество феррита, чем в других плавках.

При испытании патрубков с неудовлетворительной структурой показания коэрцитиметра наиболее высокие (брак, см. табл. 4). Значения размагничивающего тока при измерении патрубков плавки 4 для каждой однотипной нормализации ниже аналогичных величин, характеризующих плавки 1—3. Поэтому для обнаружения брака по микроструктуре, обусловленного недостаточной выдержкой при нагреве в процессе нормализации, могут быть использованы как коэрцитивная сила, так и остаточная индукция.

Высокотемпературный отпуск. Структура нормализованных и отпущеных при $690—750^\circ$ образцов состояла из феррита и продуктов отпуска промежуточных структур. О распаде остаточного аустенита в процессе отпуска свидетельствует возрастание намагниченности насыщения отпущеных образцов по сравнению со значениями I_s в нормализованном состоянии. Коэрцитивная сила и предел прочности отпущеных образцов снизились, пластичность и μ_{max} увеличились. Остаточная индукция после отпуска возросла на 25—40% по сравнению с нормализованным состоянием (см. табл. 3, рис. 1).

Образцы плавки 4 имели наименьшие значения H_c , σ_t и более высокие B_r во всем интервале температур отпуска. В их структуре содержалось наибольшее количество обедненных перлитом участков феррита. Образцы, прошедшие нормализацию от 950° с выдержкой 3 мин, после отпуска при $690—750^\circ$ обладали более высокими B_r , чем образцы первой группы; в их структуре также содержалось небольшое количество обедненных перлитом участков.

Относительное удлинение и предел прочности для всех исследованных температур отпуска постоянны в пределах ошибок эксперимента. С повышением температуры предел текучести уменьшался и имел после отпуска при $T \geq 760^\circ$ значения, соответствующие бракованным образцам. При отпуске в области $690-750^\circ$ величины μ_{\max} , B_r и I_s практически не изменялись. В интервале $760-800^\circ$ наблюдалось падение

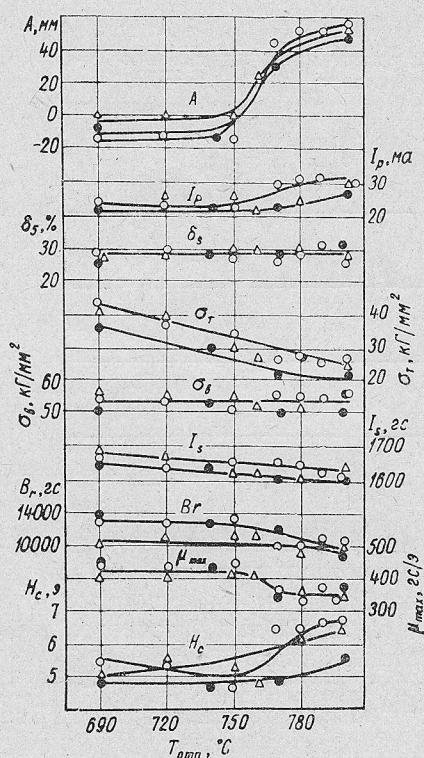


Рис. 1. Изменение магнитных, механических свойств, амплитуды сигналов магнатеста и показаний коэрцитиметра в зависимости от температуры отпуска:

Δ — плавки 1, 2, 3; \bullet — плавка 4 (нормализация от $950-980^\circ$ С; выдержка 30 мин); O — плавки 1, 2, 3 (нормализация от 950° С. Выдержка 3 мин). Выдержка при отпуске 3 ч.

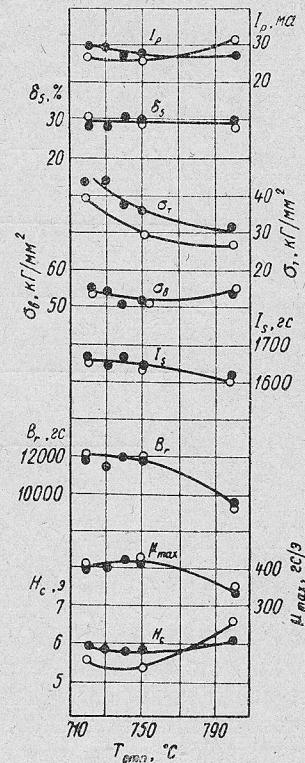


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для плавок 1, 2, 3 после нормализации от $950-980^\circ$ С с выдержкой 30 мин:

\bullet — выдержка при отпуске 1 ч; O — 3 ч.

μ_{\max} , B_r и возрастание H_c . Структура образцов, имеющих повышенные значения H_c и пониженные μ_{\max} и B_r , состояла из феррита и перекристаллизованного перлита, расположенного по границам зерен феррига (брак, баллы 8—9, табл. 5). Амплитуды напряжения на экране магнатеста и показания коэрцитиметра перегретых при отпуске образцов резко увеличивались. Небольшое уменьшение I_s для температур отпуска $760-800^\circ$ свидетельствовало о присутствии остаточного аустенита в количестве не более 2—4 %. Нагрев нормализованных труб до температур выше точки A_{c1} вызывает частичную перекристаллизацию, вследствие чего в структуре может появиться остаточный аустенит. Увеличение длительности отпуска оказывает существенное влияние на H_c и σ_t (рис. 2).

Таблица 5

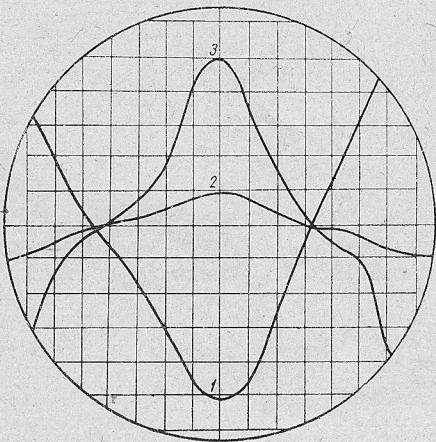
Средние значения электромагнитных и механических свойств отпущенных образцов с различной структурой

Маркировка	Баллы микроструктуры	Нормализация		Отпуск		H_c , э	μ_{\max} , эс/э	B_r , Гс	I_s , гс	Показания коэрцитиметра, мк	$\rho \cdot 10^5$ ом·см	σ_b , кГ/мм ²	σ_t , кГ/мм ²	δ_5 , %
		T , °C	Выдержка, мин	T , °C	Выдержка, ч									
1	7—6 (брек)	950 (охлаждение с печью)	30	750	3	4,5	440	12470	1660	21	2,35	48	35	36
2	4—5	950	30	750	1	5,3	410	11850	1640	26	2,49	51	34	30
3	8—9 (брек)	980	3	780	3	6,5	350	9700	1610	30	2,65	55	26	33

Примечание. Максимальные отклонения от средних значений электромагнитных свойств не превышали $\pm 3\%$.

Второй тип бракованных структур, состоящий из феррита и карбидов в виде цепочек по границам зерен феррита (брек, баллы 7—6, табл. 5), был получен после отпуска замедленно охлажденных при нормализации образцов. Такие образцы обладали наименьшими значениями H_c , σ_b , σ_t и наибольшими значениями μ_{\max} , B_r , δ_5 ; остаточный аустенит в структуре этих образцов отсутствовал. Кривые напряжения противоположны по фазе кривым, характеризующим быстро охлажденные на воздухе образцы (рис. 3), а кривые, соответствующие годным структурам (баллы 3—6, шкала МРТУ), располагались в средней зоне экрана магнагеста.

Рис. 3. Кривые измеряемого напряжения, полученные на экране магнагеста при испытании патрубков с различными типами микроструктур. Цифрами указана маркировка.



Дополнительные исследования электромагнитных свойств, а также микроструктуры образцов плавок с различной концентрацией углерода позволили уточнить зависимость показаний приборов от микроструктуры отпущеных труб (табл. 6). Из полученных данных следует, что при помощи коэрцитиметра и магнагеста можно достаточно надежно определить микроструктуру котельных труб.

Таблица
Зависимость показаний приборов от микроструктуры отпущенных образцов
стали 12Х1МФ

Баллы	Коэрцитиметр размагничиваю- щий ток, ма	Магнатест	
		амплитуда, мм	фаза, град
Брак 6—7	20—22	30—58 12—0	250 300
Годные 3—6	23—27	0—35	50
Брак 8—9	28—31	38—60	60

Примечание. Эталон—образец плавки I после нормализации от 980° с выдержкой 30 ми и отпуска при 730° в течение 1 ч. Фаза сигналов магнатеста при испытании образцов каждой группы изменялась на ± 20 градусов.

Первоуральский
новотрубный завод

Поступила в редакцию
26 июня 1970 г.;
окончательный вариант —
22 февраля 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланская К. А. Структура и свойства котельных сталей марок 12Х1МФ 12Х2МФСР, 12Х2МФБ (ЭИ531) и 1Х14Н18В2БР (ЭИ695Р), М., Изд. ОРГРЭС, 1966.

УДК 620.179.14

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОИНДУКТИВНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ

В. Д. Остапенко, В. С. Гайдамакин, О. П. Чихачев

Описана методика исследования физического состояния шлифованной поверхности закаленной стали посредством измерения вектора вносимого импеданса накладного датчика. Изучено влияние процесса шлифования стали 9Х18 на структурное состояние и фазовый состав поверхностного слоя. Данные электроиндуктивного метода сопоставлены с результатами рентгеноструктурного и металлографического исследований, что позволило получить определенную корреляцию между показаниями прибора и физическим состоянием поверхностного слоя.

В работе [1] показана высокая чувствительность электроиндуктивного метода к дефектам шлифования, однако широкое применение этого метода в производстве для контроля физического состояния шлифованных стальных поверхностей сталкивается с рядом трудностей, обусловленных совокупным влиянием характеристик испытуемого материала на выходной сигнал вихревокового датчика.

В связи с этим нами были разработаны приборы для раздельного и одновременного измерения составляющих вектора вносимого импеданса накладного датчика на частоте 500 кгц [2], а также проведен двухпараметровый анализ шлифованной по разным режимам поверхности закаленной стали. Сущность метода заключается в следующем. По измеренным составляющим определяется положение вектора вносимого импеданса накладного датчика на комплексной плоскости для нешлифованной поверхности стали, затем исследуется влияние различных режи-