

УДК: 621.774.38:620.187

РАЗРАБОТКА НОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ В СТРУКТУРЕ ТРУБ ИЗ ФЕРРИТНО-АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

С. А. Панченко*, **А. Е. Балев***, **В. И. Большаков****, д. т. н., проф.,
Т. А. Дергач**, к. т. н., в. н. с.

**ЧАО «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»*

***ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Введение

Информация о структуре сталей является определяющей для управления качеством и свойствами металлопродукции. При этом одним из важнейших структурных параметров является фазовый состав стали, в том числе, содержание неблагоприятных интерметаллидных фаз (ИФ), которые оказывают существенное отрицательное влияние, как на технологические свойства металлопродукции в процессе ее изготовления, так и на комплекс физико-механических и коррозионных свойств готового изделия при сдаточных испытаниях и в процессе эксплуатации.

В коррозионностойких хромоникельмолибденовых ферритно-аустенитных сталях ИФ выделяются при их нагреве в диапазоне температур 600-950°C, с интенсификацией процесса при 750-950°C (в зависимости от степени легирования стали), что приводит к охрупчиванию стали и возникновению склонности к локальным видам коррозии: питтинговой, межкристаллитной, коррозионному растрескиванию.

Интерметаллидные фазы наблюдали в структуре трубной заготовки и передельных труб из ферритно-аустенитной стали 02X22H5AM3. Их наличие в трубной заготовке способствовало снижению технологической пластичности стали при горячей деформации и отрицательно сказалось на качестве поверхности горячепрессованных труб. Образование ИФ в структуре передельных труб способствовало возникновению при последующей холодной прокатке необратимых микродефектов в стали, не залечиваемых термической обработкой, что привело к неудовлетворительным результатам сдаточных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии и вихретоковым контролем готовых труб.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности получения инструмента, позволяющего производить оперативную количественную оценку интерметаллидных фаз в структуре труб, как в процессе их изготовления, так и при сдаточных испытаниях.

Целью работы явилась разработка метода количественной оценки интерметаллидных фаз в структуре труб из коррозионностойких ферритно-аустенитных сталей для неразрушающего контроля трубной заготовки, передельных и готовых труб.

Материал, методы исследования и методология разработки

Анализ показывает, что наиболее распространенными методами количественной оценки интерметаллидных фаз в структуре ферритно-аустенитных и аустенитных сталей являются: металлографический [1], дифференциального рентгеноструктурного фазового анализа [2], магнитный [3]. Однако указанные методы имеют недостатки, ограничивающие их применение. Металлографический метод требует индивидуального подбора реактивов для травления шлифов конкретной марки стали и строгого соблюдения технологии травления; кроме того, он не позволяет контролировать металлопродукцию без ее разрушения, в том числе, в процессе ее изготовления. Метод рентгеноструктурного анализа также не позволяет производить количественную оценку интерметаллидных фаз в объеме металлопродукции без ее разрушения вследствие малых размеров образцов для анализа. Магнитный метод может служить в качестве неразрушающего для контроля фазового состава металлопродукции и позволяет проводить измерения непосредственно на изделии. Однако, принцип его действия основан на определении только ферромагнитных фаз, в частности феррита и мартенсита, поэтому в чистом виде он неприемлем для количественной оценки интерметаллидных фаз, являющихся, как правило, парамагнитными.

В основе предложенного нового метода лежит решение задачи по усовершенствованию известного метода количественной оценки фаз в структуре изделий из ферритно-аустенитных сталей путем изменения осуществления и методики обработки результатов измерений, что позволяет расширить технологические возможности метода путем определения содержания также интерметаллидных фаз в структуре изделий, в частности, труб, из ферритно-аустенитных сталей.

При разработке метода руководствовались тем, что ИФ, в частности, наиболее распространенная и неблагоприятная σ -фаза, являются парамагнитными и в ферритно-аустенитных сталях образуются из ферромагнитной ферритной фазы, что приводит к уменьшению содержания последней в стали.

В соответствии с этим, в методе, включающем измерение содержания ферритной фазы магнитным методом ($\Phi_{\text{магн.}}$), предварительно определяли ее содержание расчетным методом ($\Phi_{\text{расч.}}$), основанным на данных о содержании в стали ферритообразующих (хрома, кремния, молибдена) и аустенитообразующих (никеля, углерода, азота, меди) элементов [4], а содержание ИФ определяли эмпирически, путем сравнения разности $\Phi_{\text{расч.}} - \Phi_{\text{магн}}$ и данных металлографического анализа.

Материалом исследования служили экспериментальные трубы из коррозионностойких ферритно-аустенитных хромоникельмолибденовых сталей трех марок различного химического состава: 02X22H5AM3 (UNS S 31803), 02X26H5AM3 (UNS S 32550) и 03X29H7AM2 (SAF 2906), табл. 1, со структурами, не содержащими интерметаллидных фаз, а также с наличием ИФ, полученных специальными термическими обработками.

Детально исследовали влияние температуры и времени отжига на образование ИФ в структуре труб из стали 02X22H5AM3.

$\Phi_{\text{магн.}}$ определяли с помощью ферритометра марки Fisher MP 30, Германия, путем установки электромагнитного преобразователя прибора на различные участки поверхности контролируемой трубы.

$\Phi_{\text{расч.}}$ вычисляли по формуле [4]:

$$\Phi_{\text{расч.}} = -20,93 + 4,01\text{Cr}_{\text{экв.}} - 5,6\text{Ni}_{\text{экв.}} + 0,016T,$$

где $\text{Cr}_{\text{экв.}} = \% \text{Cr} + 1,73\% \text{Si} + 0,88\% \text{Mo}$;

$$\text{Ni}_{\text{экв.}} = \% \text{Ni} + 24,55\% \text{C} + 21,75\% \text{N} + 0,4\% \text{Cu}; T = 1050 - 1150^\circ \text{C}.$$

Таблица 1

Данные о химическом составе и $\Phi_{\text{расч.}}$ исследуемых труб

Марка стали	Содержание химических элементов, %							$\Phi_{\text{расч.}}$, %
	Cr	Si	Mo	Ni	C	N	Cu	
02X22H5AM3	22,0	0,55	2,9	5,35	0,023	0,16	-	45,1
02X26H5AM3	25,0	0,8	3,5	5,8	0,025	0,20	2,0	50,7
03X29H7AM2	28,2	1,0	2,2	6,5	0,025	0,26	-	54,7

В металлографическом методе для выявления интерметаллидных и ферритной фаз использовали цветное травление шлифов в реактивах Бераха: $(\text{NH}_4)\text{HF}_2$, 0,2 г $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 100 мл дистиллированной воды и 18 мл HCl и Мураками: 15 г $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, 30г KOH и 60 мл воды. За результат принимали среднее значение измерений содержания интерметаллидных и ферритной фаз методом секущих в 30 полях зрения по сечению шлифа. Исследование шлифов проводили на микроскопе «Axiovert 40 MAT» фирмы «Karl Zeiss», Германия, при увеличениях $250\times$ и $500\times$.

Анализ результатов исследований и разработки

На рис. 1-3 представлены результаты исследования образования интерметаллидных фаз в структуре труб из стали 02X22H5AM3.

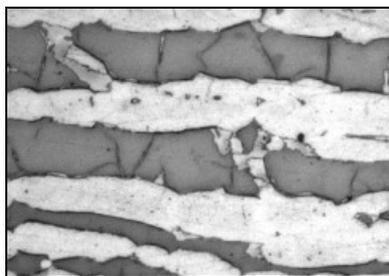


Рис. 1. Исходная структура трубы из стали 02X22H5AM3, $\times 500$.

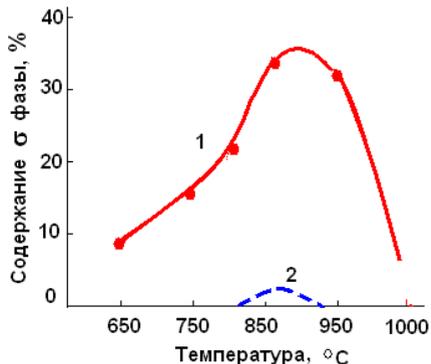


Рис. 2. Влияние температуры и выдержки 30 (кр.1) и 10 мин. (кр.2) на содержание ИФ.

На основе сравнительного анализа результатов количественной оценки ферритной и интерметаллидных фаз расчетным, магнитным и металлографическим методами в трубах из ферритно-аустенитных сталей трех марок (табл. 1) после различных термических обработок установлена эмпирическая зависимость, согласно которой содержание ИФ в структуре указанных труб определяют по формуле: $\text{ИФ} (\%) = \Phi_{\text{расч.}} - \Phi_{\text{магн.}} \cdot K$, где коэффициент $K = 3,9-4,9$ %, в зависимости от химического состава стали.

В качестве примера в таблице 2 приведены конкретные результаты количественной оценки фаз различными методами после термической обработки труб при температуре 750°C, 30 минут, способствующей образованию ИФ в их структуре.

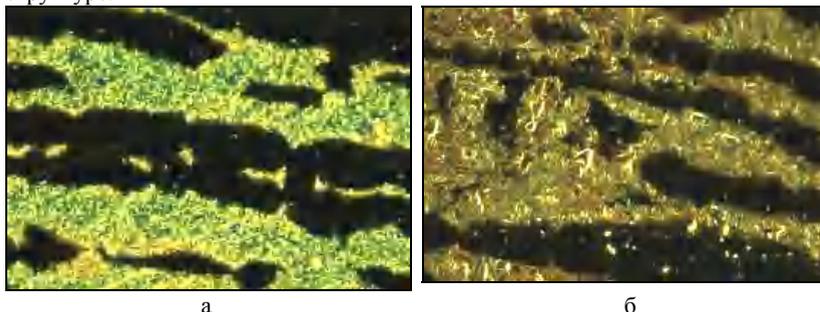


Рис. 3. Структура образцов труб после термообработки 30 мин. при 750°C (а, 13,5 % ИФ) и 850°C (б, 35,5% ИФ), $\times 500$. Травление шлифов в реактиве Мураками: ИФ темного (на цветном снимке зеленого) цвета на фоне светлого феррита, аустенит черного цвета.

Таблица 2
Результаты оценки разработанным методом фазового состава труб из ферритно-аустенитных сталей после отжига при 750°C, 30 мин.

Данные согласно метода, %							Сравнение результатов
разработанного				металлографич			
Марка стали	K	$\Phi_{\text{расч}}$	$\Phi_{\text{магн}}$	ИФ	Φ	ИФ	
S 31803	3,9	45,1	27,7	13,5	27,7	13,5	результаты совпадают
S 32550	4,4	50,7	29,8	16,5	29,8	16,5	то же
SAF 2906	4,9	54,7	30,1	19,7	30,1	19,7	то же

Полученные результаты показывают совпадение данных определения содержания ферритной фазы магнитным и металлографическим методами, а также определения содержания ИФ по установленной эмпирической зависимости: $\text{ИФ} (\%) = \Phi_{\text{расч.}} - \Phi_{\text{магн.}} \cdot K$ и металлографическим методом.

Техническим результатом применения предлагаемого метода по сравнению с наиболее близким из аналогов является расширение его технологиче-

ских возможностей путем обеспечения определения содержания интерметаллидных фаз в процессе количественной оценки фазового состава изделий из ферритно-аустенитных сталей.

Опробование разработанного метода в производственных условиях показало его работоспособность и достоверность получаемых результатов.

Он позволяет получать оперативную информацию о нарушении технологического процесса изготовления труб из ферритно-аустенитных сталей, в частности, об образовании в их структуре неблагоприятных интерметаллидных фаз, вызывающих охрупчивание стали и разрушение изделий при горячей и холодной деформации, и, при необходимости, вносить соответствующие коррективы в технологический процесс.

Его использование приведет к увеличению выпуска качественной готовой продукции за счет снижения брака на передлах и в готовых изделиях, повышению эффективности производства, а также позволит повысить эксплуатационную надежность труб в различных отраслях промышленности.

Данный метод может быть использован на металлургических, трубных, машиностроительных и других предприятиях, изготавливающих и эксплуатирующих изделия из ферритно-аустенитных сталей, а также в исследовательских целях.

Выводы

1. На основе комплексных исследований разработан новый неразрушающий метод количественной оценки интерметаллидных фаз в структуре металлопродукции, в частности, труб, из ферритно-аустенитных сталей, основанный на использовании магнитного и расчетного методов, а также установленных эмпирических зависимостей.

2. Использование метода при контроле передельных и готовых труб из коррозионностойких ферритно-аустенитных сталей позволит предотвратить брак и увеличить выход годной готовой продукции, повысить ее качество и эксплуатационную надежность.

Список использованных источников:

1. Jan-Olof Nilsson and Pasi Kangas. Influence of phase transformations on material properties and corrosion properties in duplex stainless steels. // Steel World. – P. 56-59.

2. Корнеев А.Е. Разработка методических основ идентификации избыточных фаз, образующихся в сталях в процессе производства и эксплуатации ответственных изделий машиностроения. Автореферат диссертации докт. техн. наук. М.: 2009. 33 с.

3. Патент RU № 2064672, МПК G 01N 27/72, Способ определения ферритной фазы в изделии. / Мазепа А.Г., Меринов П.Е., Попов А.А., Рогов М.Ф., Драгунов Ю.Г., Князева Л.С., опублик. 27.07.1966.

4. Practical Guidelines for Fabrication of Duplex Stainless Steel. Second edition 2009. IMOА. – 2009. – P.10.