

**Т.Э. ШЕПИЛЬ, В.А. КАЧАНОВ**, канд. хим. наук,  
**Ю.Б. ДАНИЛОВ**, докт. техн. наук, **В.Ю. КОЗИН**,  
**В.М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**В.Г. ИВАНОВ**, ОАО «УкрНИИхиммаш»

## **МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТРЕЗКОВ ТРУБ, ВЫРЕЗАННЫХ ИЗ ПЕЧИ РИФОРМИНГА НА ОДЕССКОМ ПРИПОРТОВОМ ЗАВОДЕ**

В статті наведені результати металографічних досліджень руйнування зварних з'єднань труб різнорідних матеріалів легованої теплоустойчивої сталі А335GrP11 та жароміцного сплаву Манурит ХМ. Показано, що розвиток МКК по лінії сплавлення виявляється як слідство виділення карбідів по границям зерен. По внутрішній стороні труби утворився знеуглерожений шар.

В статье приведены результаты металлографических исследований разрушения сварных, соединенных труб разнородных материалов легированной теплоустойчивой стали А335GrP11 и жаропрочного сплава Манурит ХМ. Показано, что развитие МКК по линии сплавления проявляется как следствие выделение карбидов по границам зерен. По внутренней стороне трубы образовался обезуглероженный слой.

The results of metallographic investigations of the destruction of welding, pipe joints of dissimilar materials alloyed thermostable steel А335GrP11 and heat-resistant alloy Manaurite ХМ. It is shown that the development of the ICC through the fusion appears as a consequence of the allocation of carbides along grain boundaries. On the inside of the pipe formed carbon-free layer.

Для исследования характера разрушений и оценки остаточной работоспособности труб печи риформинга были представлены фрагменты сварных соединений труб из разнородных сталей – легированной теплоустойчивой А335GrP11 и Манурит ХМ.

В таблице представлен химический состав сталей труб печи риформинга.

Таблица

Химический состав сталей труб печи риформинга

Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
А335Gr11	0,15	1,0	0,6	0,03	0,03	-	1,5	0,65	-	-
Манурит ХМ	0,4-0,45	2,0	1,5	0,03	0,03	32,0-35,0	23,0-27,0	0,2	0,25	1,0

Химический состав стали А335GrP11 близок отечественной стали 15ХМ.

Из представленных фрагментов были изготовлены шлифы в поперечном сечении к сварному шву.

На рис. 1 представлена макроструктура сварного соединения А335GrP11 (на рисунке слева) и Манурит ХМ (справа).

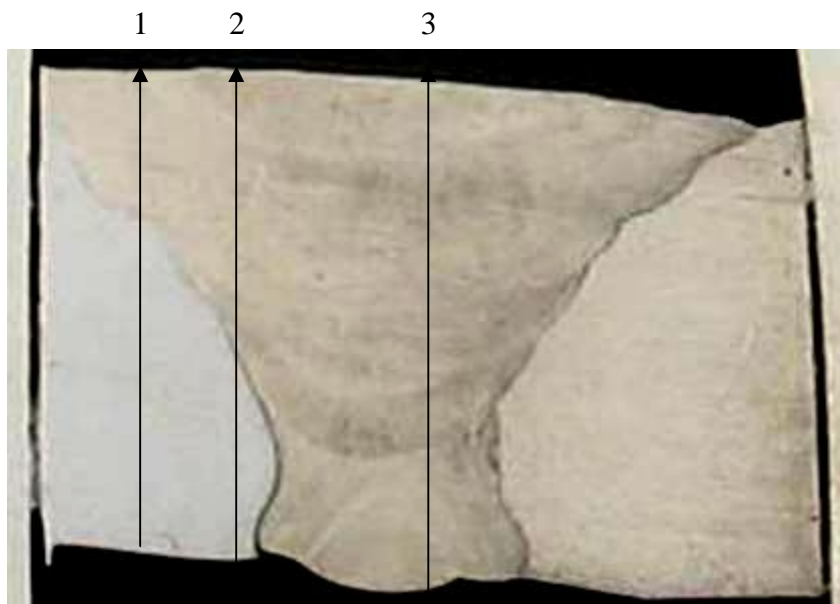


Рис. 1. Макроструктура сварного соединения

С внутренней стороны трубы у линии сплавления со сталью А335GrP11 наблюдается ножевая коррозия, переходящая в трещину по контуру линии сплавления глубиной ~ 9,5мм.

Металлографическими исследованиями сварного соединения трубы после эксплуатации выявлено:

- структура основного металла состоит из ферритных зёрен матрицы и зёрен с мелкодисперсными выделениями карбидов – перлит (рис. 2а);

- размер ферритных зёрен, определённых по ГОСТ 5639-92 соответствует 7- 6 баллу;

- по мере приближения к ЗТВ структура представляет собой феррито-сорбитную смесь (рис. 2б);

- у внутренней стороны трубы наблюдается подслоя светлого слаботравающегося металла в виде полоски, глубиной ~ 0,24 мм.

В нём произошло обезуглероживание поверхностного слоя под влиянием диффузии углерода в газовую среду (рис. 3).



а



×200

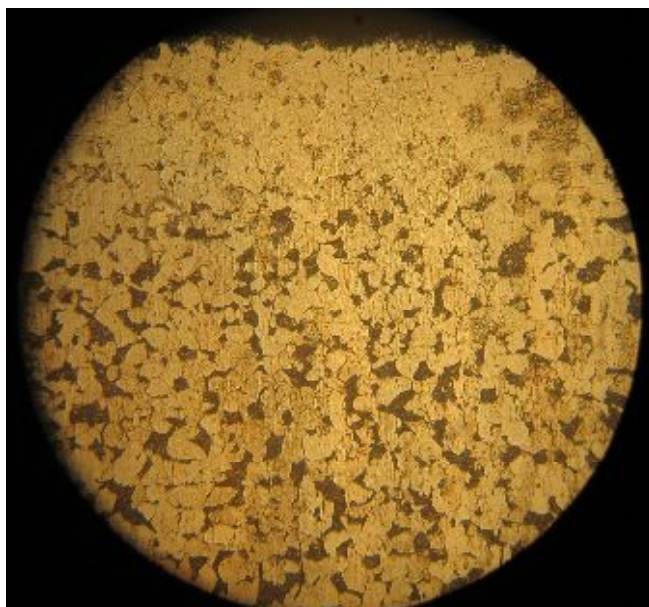
б

Рис. 2. Микроструктура металла отработавшей трубы:  
а – основной металл, б – металл у зоны термического влияния (ЗТВ)

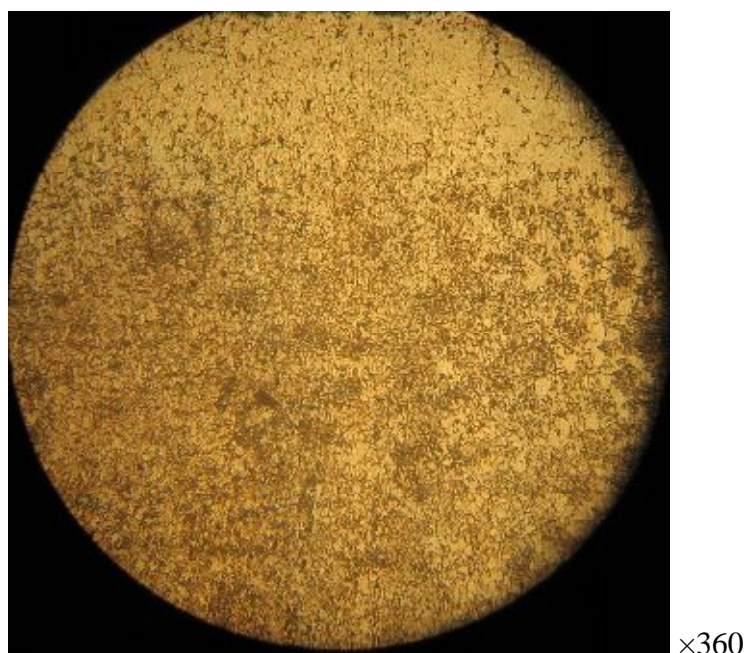
Такого рода деградация структуры (обезуглероживание) приводит к снижению прочности и твёрдости внутреннего слоя металла трубы (рис. 4 а и б).

Металлографическими исследованиями установлено, что границы ферритных зёрен значительно утолщены за счёт дополнительного выделения карбидов, а также наблюдаются глобулярные выделения в пределах ферритных зёрен (рис. 5).

При последующей эксплуатации и температурных воздействиях не исключена возможность дальнейшего превращения карбидной фазы, а следовательно ускоренной коррозии по границам зёрен феррита, обеднённых хромом, а также росту микропор по границам зёрен, а следовательно, снижению предела ползучести металла.



а



б

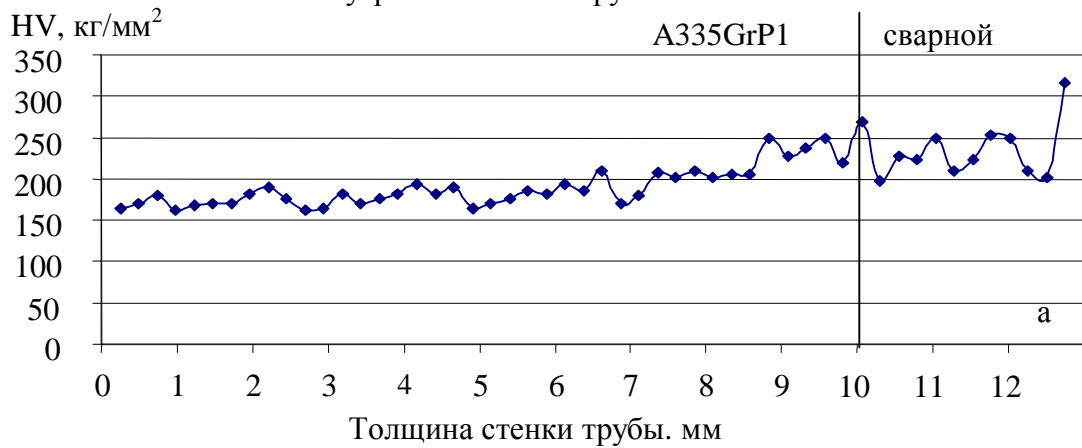
Рис. 3. Поверхностный обезуглероженный слой:  
а – в основном металле, б – в ЗТВ

Структурные изменения коррелируются с изменениями микро-твёрдости по сечению трубы (рис. 4 а и б).

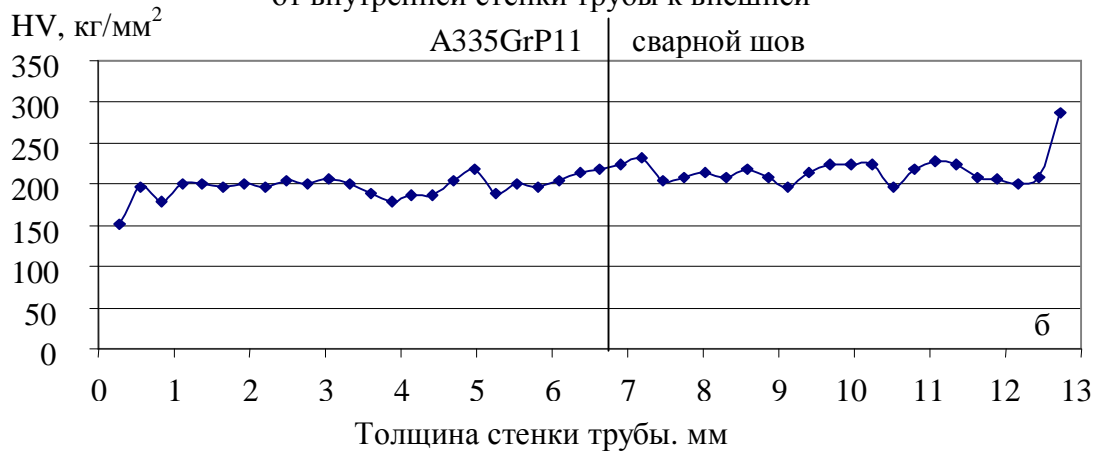
Изучение структуры в сечении трубы выявило её значительную неоднородность на микроуровне.

У внутренней поверхности трубы в области зоны термического влияния выявлена значительная полосчатость (рис. 5).

Распределение микротвёрдости по сечению 1 (рис. 1)  
от внутренней стенки трубы к внешней



Распределение микротвёрдости по сечению 2 (рис. 1)  
от внутренней стенки трубы к внешней



Распределение микротвердости по сечению 3  
от внутренней стенки трубы к внешней



Рис. 4. Изменения микротвёрдости по сечению трубы



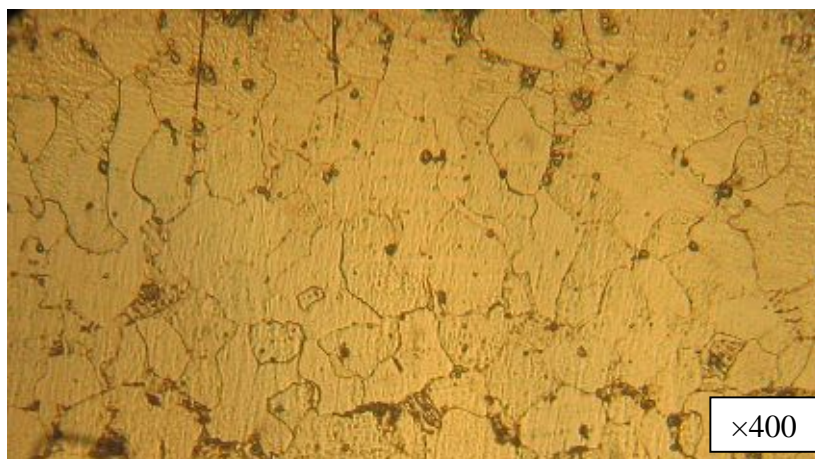


Рис. 5. Карбидообразование по границам зёрен феррита, обеднённых хромом

Наличие такой полосчатости во внутренних слоях сечения трубы связано с ликвацией легирующих элементов, в данном случае хрома, что значительно ухудшает прочность труб при высоких температурах в условиях эксплуатации.

На рис. 6 представлено коррозионное разрушение с локализацией в узкой зоне на границе между аустенитным швом и перлитной сталью (ножевая коррозия).

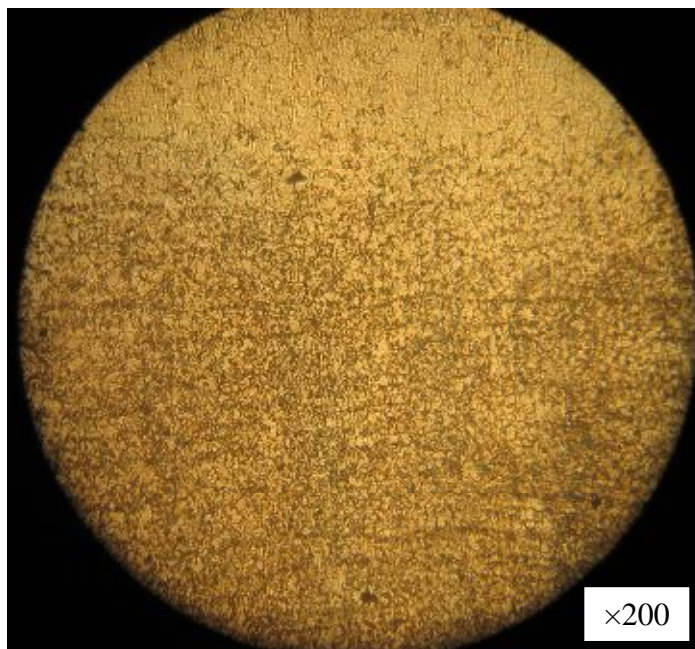
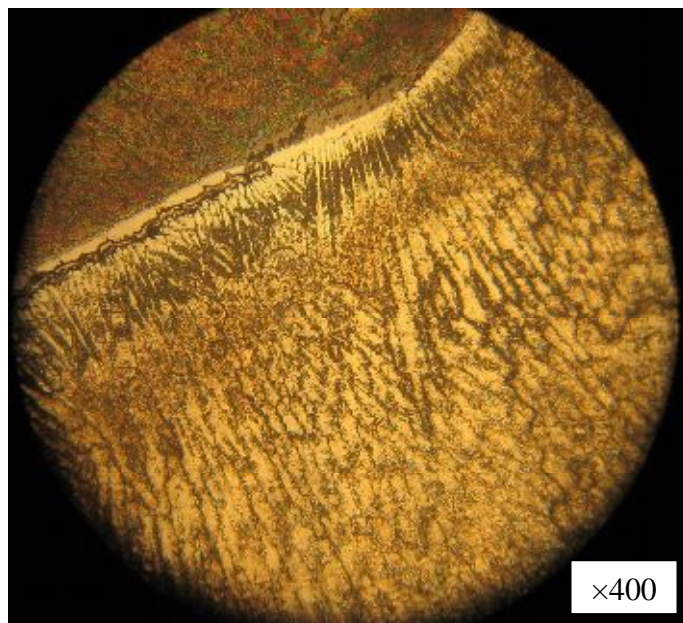


Рис. 6. Полосчатость в перлитной стали

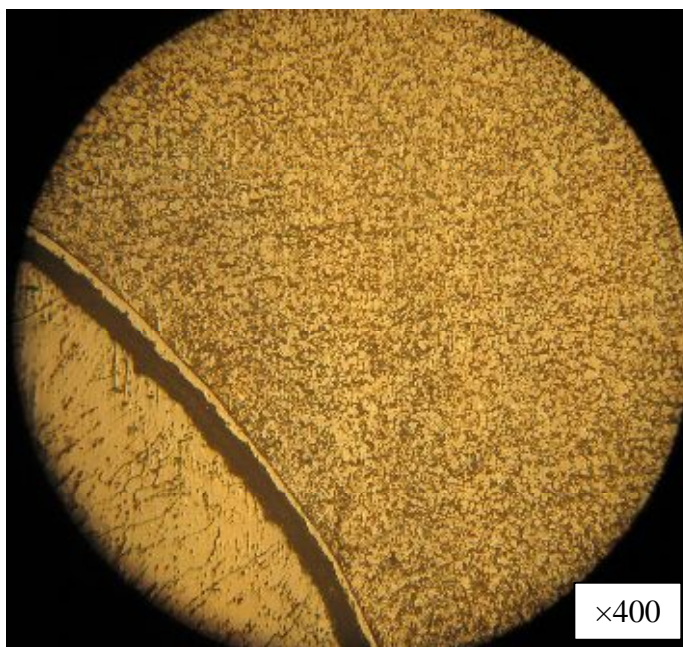
В сварном шве наблюдаются высокотемпературные продукты распада мартенсита с относительно высокой микротвёрдостью  $\sim 260 \text{ кг/мм}^2$  (рис. 4 в)

и обезуглероженные прослойки со стороны перлитной стали, где микротвёрдость снижается до  $\sim 180 \text{ кг/мм}^2$  (рис. 7 а, б).

Таким образом, по линии сплавления образуются участки одновременного действия структурных и сварочных напряжений, являющимися основными факторами возникновения и развития коррозионного растрескивания.



а



б

Рис. 7. Структурные превращения в сварном шве:  
а – продукты распада мартенсита,  
б – обезуглероженный слой со стороны перлитной стали

## **Выводы:**

Основными причинами разрушения сварного соединения трубы печи риформинга являются:

- дополнительное выделение карбидов по границам зёрен, обеднённых хромом, вследствие чего идёт ускоренное развитие межкристаллитной коррозии по линии сплавления;
- образование обезуглероженного слоя у внутренней стороны трубы на глубину 0,24 мм;
- наличие полосчатой структуры связано с неравномерностью распределения легирующих элементов и карбидов в металле.

*Поступила в редколлегию 25.03.10*

УДК 661.791.669.14

**К.А. ЮЩЕНКО**, академик НАН Украины,  
**Л.В. ЧЕКОТИЛО**, канд. техн. наук,  
**Ю.Н. КАХОВСКИЙ**, канд. техн. наук, **А.В. БУЛАТ**, канд. техн. наук,  
**Р.И. МОРОЗОВА**, канд. техн. наук, **В.В. МУТАС**, **Г.Ф. НАСТЕНКО**,  
ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины,  
**Ю.Б. ДАНИЛОВ**, докт. техн. наук, **В.А. КАЧАНОВ**, канд. хим. наук,  
**В.М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук, **А.И. КАБАШНЫЙ**,  
**С.М. ИВАНУНА**, ОАО «УкрНИИхиммаш»,  
**В.Н. БЕСПАЛЫЙ**, **О.А. СИКОВЕЦ**, **Ю.А. БАГРОВ**,  
**С.В. КИРИЧКОВ**, ПАО «УкрТаТнафта»

## **ОПЫТ РЕМОНТА КОРПУСОВ КОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ ИЗ ДВУХСЛОЙНЫХ СТАЛЕЙ**

Проведено аналіз корозійно-технічного стану корпусів ряду колон ПАТ «УкрТаТнафта» з переробки нафти з двошарових сталей СтЗсп + 08Х13 та 16ГС + 08Х13 за період з 2003 по 2009 роки. Розроблено технологію ремонту та нормативну документацію для діагностики корпусів колон з підвищеною твердістю корозостійкого шару 08Х13. Технологія впроваджена у виробництво на ряді об'єктів ПАТ «УкрТаТнафта».