

Таким образом, с использованием метода планирования эксперимента получены регрессивные зависимости, которые в первом приближении могут быть использованы для оценки влияния технических факторов на изменение величины неравномерности распределения продольных скоростей течения металла K_v , а, следовательно, и на изменение картины напряженного состояния. При этом с позиции повышения качества АПП (прежде всего предупреждения макроразрушений) из сталей с высоким уровнем пластичности при прокатке с подстуживанием более предпочтительна система калибров, использующая плоскую овальную заготовку, а из сталей с ограниченной (низкой) пластичностью — система калибров, использующая однорадиусную овальную заготовку.

Список литературы.

1. Минаев А.А., Смирнов Е.Н., Белевитин В.А. Неравномерность распределения скоростей течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению // Известия вузов. Черная металлургия, 1994. — № 8. — С. 17–19.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 879 с.

© Смирнов Е.Н., 1999.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА СКЛОННОСТЬ К ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРЕВАХ

АЛИМОВ В.И., ГИНЗБУРГ Г.А. (ДонГТУ)

Установлено, что размер зерна и тип структуры в стали состава 0,09% С, 0,36% Si и 0,42% Mn значимо влияют на ее склонность к газовой коррозии при нагревах ниже температуры A_{c1} .

Многочисленные элементы узлов промышленного оборудования, и некоторые металлоконструкции работают в условиях сравнительно не высоких температур, часто не превышающих температуру т. A_{c1} ; однако при длительной работе и таких температур вполне достаточно, для того, чтобы газовая коррозия лимитировала долговечность металлических элементов оборудования, тем более что для их изготовления массово применяются углеродистые, преимущественно низкоуглеродистые, стали. Типичным представителем такого оборудования являются различные теплообменники (воздухо-нагреватели), в которых наиболее теплонагружены трубчатые элементы. Условия работы трубчатых элементов осложняются тем, что их обогрев производится продуктами сгорания, содержащими, например, соединения серы и золу [1].

Исследование влияния размера зерна и типа исходной структуры на склонность к газовой коррозии трубчатых элементов из низкоуглеродистой стали целесообразно в связи с тем, что эти параметры могут существенно меняться для стали различного производства и обработки, а также меняться при изготовлении теплообменников и эксплуатации их в экстремальных ситуациях.

Материалом для исследований служил отрезок трубы диаметром 40 мм с толщиной стенки 1,6 мм из стали 10 с содержанием: 0,09% С, 0,36% Si, 0,42% Mn, и не более 0,04% S, 0,035% P, 0,15% Cr, 0,25% Cu, 0,25% Ni, 0,08% As. Кольца трубы высотой 10 мм разрезали на образцы длиной 15 мм каждый. Различную величину зерна и структуру получали предварительной термообработкой с предохранением поверхности образцов от окисления и обезуглероживания обмазкой, содержащей оксид

алюминия. После подготовки поверхности образцы подвергали испытаниям на склонность к газовой коррозии при температурах 200–600°C (через 100 град) с длительностью выдержки 1 час при каждой температуре. Оценку склонности к газовой коррозии производили по положительному показателю изменения массы K_m^+ , рассчитанному из привеса образца. Сведения о режиме предварительной термообработки, полученной структуре и результатах газовой коррозии приведены в таблице 1. Как видно, для стали с однотипной структурой (преимущественно, ферритной), показатель изменения массы зависит от размера зерна и эта зависимость в изученных границах линейна в координатах $K_m^+ - (1/d)$, где d — средний размер поперечника зерна. Следует отметить, что подобную зависимость установили и авторы работы [2] на стали с 0,07% С, 0,42% Мп, 0,019% Si, 2,28% Cr, 0,95% Мо, однако на этой стали склонность к газовой коррозии возрастала с уменьшением размера зерна; возможно, что это было связано с более высокими температурами нагрева, изменяющими механизм окисления.

Таблица 1 — Положительный показатель изменения массы в связи с исходной структурой стали и условиями газовой коррозии

Режим предварительной термообработки	Микроструктура	Размер зерна*		Показатель K_m^+ , г/(м ² ·ч) при температурах нагрева, °С				
		номер	Среднее, мкм	200	300	400	500	600
Исходное горячекатаное состояние	Феррит (+перлит)	9–10	16	48,5	78,4	123,8	177,2	183,9
Отжиг, 945°C, 10 мин	Феррит (+перлит)	7–8	22	56,8	80,2	135,4	175,7	193,2
Отжиг, 945°C, 60 мин	Феррит (+перлит)	4–5	69	68,1	96,3	138,2	188,4	190,2
Отжиг, 1050°C, 120 мин	Феррит (+перлит)	3–4	98	66,7	101,8	149,4	198,1	200,3
Закалка 900–920°C, 10%-ный р-р NaCl	Малоуглеродистый мартенсит	—	—	46,1	63,7	126,5	148,4	150,3
Закалка и отпуск 540–560°C, 15 мин	Сорбит отпуска	—	—	52,3	74,1	119,1	157,8	173,1

* Номер зерна и его средний размер определяли по ГОСТ 5639–82.

Зависимости положительного показателя изменения массы от размера поперечника зерна выражаются следующими уравнениями (таблица 2):

Таблица 2 — Уравнения связи показателя прироста массы при газовой коррозии и размера феррита для разных температур нагрева.

Температура нагрева, °С	Уравнения:
1	2
200	$K_m^+ = 74 - 400 \cdot d - 1$

Продолжение таблицы 2

1	2
300	$K_m^+ = 104,8 - 480 \cdot d - 1$
400	$K_m^+ = 151,6 - 460 \cdot d - 1$
500	$K_m^+ = 197 - 400 \cdot d - 1$
600	$K_m^+ = 202,6 - 260 \cdot d - 1$

Из данных таблицы 1 видно также, что упрочненная закалкой на малоуглеродистый мартенсит сталь менее склонна к окислению, чем сталь с преимущественно ферритной структурой, даже с наименьшим размером зерна. Высокий отпуск упрочненной на малоуглеродистый мартенсит стали хотя и увеличивают эту склонность, но все же значение показателя K_m^+ остаются ниже, чем у стали со структурой полиэдрического феррита.

С повышением температуры от 200 до 600°C для каждой из изученных структур показатель изменения массы растет. Представление полученных результатов в спрямляющих координатах $\lg K_m^+ - 1/T$ и получение линейных зависимостей $\lg K_m^+ = f(1/T)$ свидетельствует о том, что закономерности окисления для всех изученных структур подчиняются уравнению Аррениуса, однако кажущаяся энергия активации Q и постоянная A уравнения Аррениуса несколько различаются, что следует из наклона линий и уравнений, полученных при обработке результатов (таблица 3):

Таблица 3 — Уравнения связи прироста массы при газовой коррозии и температуры для разных структур.

Микроструктура	Размер зерна, мкм	Уравнение
Феррит+перлит	16	$\lg K_m^+ = 3,14 - 684,21 \cdot T^{-1}$
Феррит+перлит	22	$\lg K_m^+ = 2,97 - 578,95 \cdot T^{-1}$
Феррит+перлит	69	$\lg K_m^+ = 2,89 - 526,32 \cdot T^{-1}$
Феррит+перлит	58	$\lg K_m^+ = 2,84 - 473,68 \cdot T^{-1}$
Мартенсит малоуглеродистый	—	$\lg K_m^+ = 2,92 - 578,95 \cdot T^{-1}$
Сорбит отпуска	—	$\lg K_m^+ = 2,98 - 631,58 \cdot T^{-1}$

Уравнения, приведенные в таблицах 2, 3, могут быть использованы для оценки температурной зависимости склонности к окислению различных типов структур низкоуглеродистой стали при нагревах ниже температуры A_{c1} .

Таким образом, размер зерна и тип структуры в низкоуглеродистой стали, определяют ее склонность к окислению при низкотемпературных нагревах, не превышающих температуру A_{c1} . Полученные данные о влиянии размера зерна на склонность к окислению и известные из литературы данные не однозначны.

Список литературы

1. Оборудование цехов улавливания и переработки продуктов коксования: Справочник / З.И.Башлай, Е.Л.Волков, Я.Л.Горелик, Л.М.Коваленко и др. — М.: Металлургия, 1992. — 256 с.
2. Grain size effect on the oxidation behaviour of 2,25 Cr — 1 Mo steel / Singh Raman R.K., Dayal R.K., Rhanna A.S., Ghanamorhty J.B. // J.of Materials Science Letters, — 1989. — № 8. — p. 277–278.

© Алимов В.И., Гинзбург Г.А., 1999.