

**УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ ДВУХФАЗНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ СТАЛЕЙ**

**В. Г Мищенко, д. т. н., проф., Н. А. Евсева, асп.**

*Запорожский национальный университет*

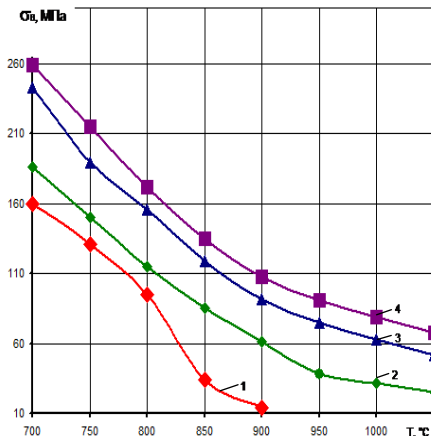
Повышение эксплуатационных характеристик коррозионностойких сталей, применяемых в титаномагнийном производстве для изготовления реакторов, до сих пор остается все еще неразрешенной задачей. Применяемые стали должны обладать достаточной сопротивляемостью в контакте с агрессивной средой при высоких температурах, жаростойкостью и механической прочностью.

Основными компонентами коррозионностойких сталей, которые применяются для изготовления реторт магнийтермического производства губчатого титана, являются Fe, Cr, Ni, Mn, Co. Известные коррозионностойкие стали содержат Cr от 13-35%, Ni до 35%, а также легирующие элементы (Mo, Nb, Ti и др.), которые способствуют повышению их механических и служебных свойств [1]. Анализ физико-химического взаимодействия компонентов стали со средой восстановительного процесса получения титана показал, что марганец в стали не является термодинамически устойчивым в среде безкислородного окислителя  $TiCl_4$ , он окисляется легче, чем хром, железо и никель. Поэтому марганец и ванадий могут применяться с ограничением верхнего предела их содержания, а в случае необходимости частично заменяться аналогами [2]. При этом следует учитывать вредное влияние острodefицитного и дорогостоящего никеля, который экстрагируется жидким магнием и накапливается в нем, а в процессе восстановления загрязняет титановую губку [3]. Данная работа посвящена изучению изменения структуры и физико-механических свойств под влиянием повышенных температур эксплуатации разработанной и известных сталей.

Целью исследования является определения влияния химического состава сталей на протекание структурных превращений, соответственно, изменения физико-механических свойств под воздействием рабочих температур и нагрузок, оказываемых на реторты магнийтермического производства губчатого титана.

Известно, что на показатели механических свойств материалов, к числу которых в первую очередь относятся характеристики прочности ( $\sigma_b$ ) и пластичности ( $\delta$ ,  $\psi$ ), влияют такие факторы как химический состав и температура эксплуатации.

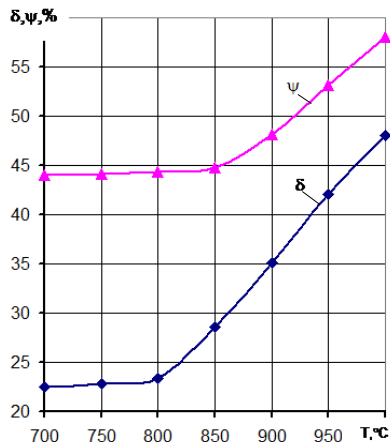
Исследованы следующие марки сталей: 03X17H3Г9МБДЮч; 15X16H13МБЮ; AISI 321(05X18H10T); 03X17HГ8ФДч. Сравнивая показатели прочности разработанных хромоманганцевых сталей с хромоникелевыми при повышенных температурах, можно отметить, что хромоникельмарганцевая сталь 03X17H3Г9МБДЮч практически не уступает хромоникелевой стали 15X16H13МБЮ вплоть до высоких температур (рис. 1)



**Рис. 1.** Зависимость предела прочности сталей от температуры испытаний: 1 - 03X17НГ8ФДч; 2 - AISI 321 (05X18Н10Т); 3 - 03X17НЗГ9МБДЮч; 4 - 15X16Н13МБЮ.  $\sigma_B$  при 20 °С для сталей: 1 - 03X17НГ8ФДч = 815 МПа; 2 - AISI 321 = 540 МПа; 3 - 03X17НЗГ9МБДЮч = 717 МПа; 4 - 15X16Н13МБЮ = 560 МПа.

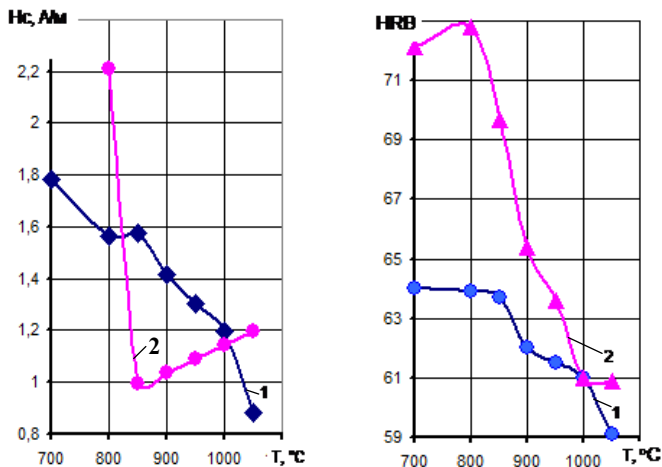
При температуре 20 °С сталь 03X17НГ8ФДч обладает самыми высокими показателями прочности  $\sigma_B=815$  МПа, однако при повышении температуры эти показатели резко снижаются и после 900°С уменьшаются почти до 0. Разработанная сталь 03X17НЗГ9МБДЮч при 20 °С обладает также высокими показателями предела прочности  $\sigma_B=717$  МПа, однако при увеличении температуры до 1000 °С сохраняет достаточно высокие прочностные характеристики и, практически, не уступает сталям с повышенным содержанием никеля типа 15X16Н13МБЮ, превышая при этом показатели стали AISI 321 (см. рис.1). При 1000 °С происходит заметное снижение прочности у всех сталей: стали 15X16Н13МБЮ до 80 МПа, стали 03X17НЗГ9МБДЮч до 77 МПа, стали AISI 321 до 25 МПа. При этом сталь 03X17НЗГ9МБДЮч с меньшим содержанием углерода-0,029% и никеля-2,3%, как при низких температурах так и при высоких температурах обладает высоким сопротивлением разрыву, близкими значениями величины удлинения ( $\delta$ ) и сужения ( $\psi$ ) к стали 15X16Н13МБЮ и существенно превосходит хромоникелевую сталь AISI 321 более высокими показателями [4]. В то же время сталь 03X17НГ8ФДч с содержанием углерода- 0,03%, никеля- 1,33% сохраняет высокие значения прочностных характеристик только при сравнительно невысоких температурах (см. рис. 1).

Исследование пластических характеристик проводили только на экономнолегированной стали 03X17НЗГ9МБДЮч, как обладающей более высокими характеристиками прочности. К тому же она сохраняет высокое сопротивление к локальной деформации при 1000 °С,  $\psi = 57\%$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость показателей пластичности стали 03X17H3Г9МБДЮч от температуры испытаний.

Для анализа влияния термической обработки на магнитные и механические свойства разработанной стали 03X17H3Г9МБДЮч и стали 03X17HГ8ФДч, проводили их термическую обработку в интервале температур 700-1050 °С, выдержка -5 мин., охлаждение - на воздухе. На этих же сталях измеряли коэрцитивную силу и твердость методом Роквелла по шкале HRB (рис. 3).

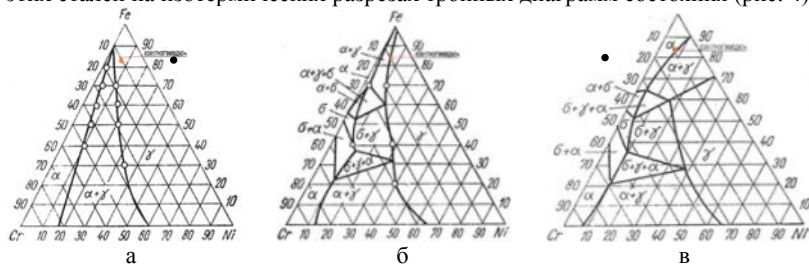


**Рис. 3.** Зависимость коэрцитивной силы и твердости от температуры испытаний сталей: 1 - 03X17H3Г9МБДЮч; 2 - 03X17HГ8ФДч.

Сравнительные испытания механических свойств сталей 03X17НЗГ9МБДЮч и 03X17НГ8ФДч показали, что с повышением температуры их твердость плавно уменьшается. В стали 03X17НЗГ9МБДЮч после 850°С наблюдается резкое уменьшение коэрцитивной силы, что связано с проккаллитной составляющей структуры, в результате чего количество аустенита преобладает над ферритом вплоть до полного его исчезновения при 1050°С (см. рис. 3).

Сталь 03X17НГ8ФДч закалена с 700°С имела очень высокое значение коэрцитивной силы  $H_c=43833\text{А/м}$ , но при увеличении температуры обработки до 850°С произошло резкое снижение  $H_c$  до 998,5А/м. Дальнейшее увеличение температуры закалки способствовало незначительному увеличению коэрцитивной силы, что связано с структурными  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращениями (см. рис. 3).

В стали 03X17НГ8ФДч с увеличением температуры закалки от 850°С до 1050°С доля феррита возрастает, что иллюстрируется увеличением магнитного насыщения, которое возрастает пропорционально количеству феррита. Это неприемлемо для материала используемого в изготовлении реакторов, работающих при высоких температурах, в связи с понижением его жаропрочности. Твердость стали 03X17НЗГ9МБДЮч при повышении температуры закалки снижается плавно в отличие от стали 03X17НГ8ФДч, что характеризуется более благоприятным фазовым составом. Это подтверждается положением этих сталей на изотермических разрезах тройных диаграмм состояния (рис. 4).



**Рис. 4.** Изотермические разрезы тройной диаграммы состояния системы Fe-Cr-Ni: а - 1100°С; б - 800 °С; в - 400 °С. [5].

Структурные превращения в сталях аустенитно-ферритного класса достаточно сложны. В зависимости от химического состава сталей соотношение аустенита и феррита может варьироваться в довольно широких пределах и ориентировочно может быть определено по диаграмме Шеффлера де Лонга [6].

Следует отметить, что все легирующие элементы условно отнесены или к аналогам хрома или аналогам никеля. Этим в значительной степени определяется их влияние на количество феррита в стали. Для расчета эквивалентов приводятся следующие формулы [6]:

$$C_{г.э.кв.} = \% Cr + \% Mo + \% 1,5 \% Si + 0,5 \% Nb + 3,5 \% Al;$$

где  $C_{г.э.кв.}$  – хромовый эквивалент или сумма ферритообразующих элементов;

$$N_{н.э.кв.} = \% Ni + 30 \% (C + N) + 0,5 \% Mn + \% Cu,$$

$Ni_{эқв}$  – никелевый эквивалент или сумма аустенитообразующих элементов.

Как видно из приведенного разреза тройной диаграммы Fe-Cr-Ni при различных температурах, что при температуре 1100°C сталь 03X17H3Г9МБДЮч при никелевом эквиваленте  $Ni_{эқв}=8,13$  и хромовом эквиваленте  $Cr_{эқв}=18,85$  находится в области однородного твердого раствора  $\gamma$ . При пониженных температурах сплав находится в области смешанных твердых растворов  $\alpha+\gamma$  (рис. 4).

Интервал рабочих температур реторт 20-1000°C непосредственно связан с технологической схемой процесса и предусматривает циклическую смену температур. Двухфазная структура стали дает возможность продлить срок эксплуатации реторты: при повышении температуры выше 800°C в разработанной стали 03X17H3Г9МБДЮч начинает преобладать аустенитная структура, тем самым обеспечивая повышенную жаропрочность, при понижении температуры наблюдается появление ферритной составляющей, способствующей релаксации термических напряжений. Такое изменение фазового состава сталей повышает долговечность реторт, обеспечивая сохранения показателей жаропрочности содной стороны, и частично компенсирует термические напряжения – с другой.

Проанализировав физико-механические свойства, влияния термообработки на механические свойства разработанной и уже известных сталей, можно сделать вывод, что для сталей, применяемых в титаномагниевоом производстве для изготовления реакторов, сталь 03X17H3Г9МБДЮч обладает высокими механическими свойствами в широком интервале температур 20-1000°C, а также является экономлегированной по сравнению с хромоникелевыми сталями, применяемыми в настоящее время. Данные исследований показывают, что сталь 03X17H3Г9МБДЮч является перспективным конструкционным материалом для магнитемического производства титана.

#### **Использованная литература**

1. *Титан* / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. – М. Металлургия, 1983. – С. 559.
2. *Мищенко В. Г., Евсеева Н. А.* Анализ физико-химического взаимодействия компонентов стали со средой восстановительного процесса получения титана // Вісник двигунобудування. – 2009. – № 2. – С. 120–122.
3. *Механизмы разрушения материалов реторт в магнетермическом производстве губчатого титана* / А. В. Капитан, С. В. Твердохлеб, В. Г. Мищенко, И. Н. Лазечный // Сб. докл. 4-й Междун. конф. “Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов”. – Харьков, 2003. – С. 51–58.
4. *Mischenko V.*Cr. Metallurgical aspects of the production of chromium-nickel steels with low carbon contents // Foundry Journal of Polish Foundrymen’s Technical Association.- Krakow.- 2003.- №9.- S.326-329.
5. *Бабаков А.А* Коррозионностойкие стали и сплавы / А. А. Бабаков, М.В. Приданцев. – М: Металлургия, 1971. – С. 319.
6. *Сокол И. Я.* Двухфазные стали. – М. : Металлургия, 1974. – С.214.