

Влияние легирующих элементов на свойства безникелевой мартенситно-старееющей стали

Н. Кузьмин¹, Е. Н. Еремин¹

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Проанализирован состав легирующих элементов для основы состава металла. Определен химический состав экономлегированных мартенситностарееющих сталей для работы в условиях ударно-абразивного износа. Наиболее перспективными в использовании в качестве легирующих элементов являются марганец и хром. Содержание марганца до 7% масс. и хрома в количестве 12% масс. является оптимальным, для наплавки изделий работающих в условиях ударно-абразивного износа.

Ключевые слова: экономлегированные стали, мартенситно-старееющий металл, химический состав, упрочнение, марганец, хром

Стремительное развитие техники упрочнения деталей машин и механизмов вызывает необходимость создания и освоения, новых наиболее экономичных материалов. Мартенситно-старееющие стали (МСС) – это особый класс материалов, превосходящий по конструкционной прочности и технологичности легированные низкоотпущенные и дисперсионно-твердеющие среднеуглеродистые стали.

В 70-х гг. XX в. широкое распространение получили высоколегированные высокопрочные стали на основе системы Fe-Ni-Co-Mo, однако высокие стоимость и дефицитность элементов, обеспечивающих упрочнение металла этой системы, ограничивали их широкое использование для получения износостойких покрытий наплавкой [1]. Для экономнолегированных МСС наиболее важное значение приобретает сочетание различных характеристик механических свойств при минимальном содержании дорогих и дефицитных легирующих элементов. Определением основы состава мартенситно-старееющего металла для наплавки изделий работающих в условиях ударно-абразивного износа и посвящена данная работа.

Согласно классификации С.Р. Бирмана [2], наиболее подходящими свойствами для работы в условиях ударно-абразивного износа обладают стали с умеренной пластичностью. В табл. 1 представлены некоторые из марок этих сталей.

Таблица 1

Химический состав (%) экономнолегированных старееющих сталей

Сталь	C	Mn	Ni	Cr	Mo	Al	Прочие элементы
а) стали с пределом текучести $\sigma_{0,2} \leq 120$ кгс/мм ²							
Г7С2М2Т	≤0,03	6-7	–	–	2-2,5	–	1,5-2 Si, 0,7-1 Ti,

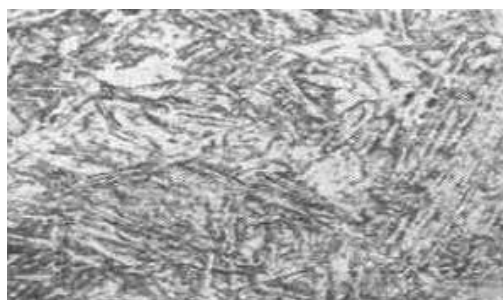
							0,1-0,5 W
X12Г7Ф3Д2	<0,03	6-7	–	11-12	–	–	1-2 Cu, 1-3 V
б) стали с пределом текучести $\sigma_{0,2}=120-160$ кгс/мм ²							
X8H4СГМЮ	0,03-0,08	0,8-1,4	3-5	7-9	1-2	0,5-0,9	0,8-1,4 Si
03X5H3MД2ЮБ	0,03-0,08	0,15-0,6	1,5-3	4-5	1-2	0,5-0,75	0,4-2 V 1,5-2 Cu
в) стали с пределом, текучести $\sigma_{0,2}>160$ кгс/мм ²							
H8X6M6Ю	0,02-0,05		7-9	5-7	5-6	1-1,4	0,3-0,7 V, 0,01-0,05 Zr
H12M2Д2ТЮ	0,02-0,05	–	10-12	–	2-3	0,7-1,1	0,8-1,2 Ti, 2-2,5 Si, 0,2-0,5 V

Стали которые содержат в своем составе никель (в пределах 8-12% масс.), имеют прочностные свойства которые приближаются к области «переходной прочности» или ей соответствуют (при $\sigma_{0,2} = 140 \pm 20$ кгс/мм²) и имеют достаточно большой запас пластичности и вязкости.

Для сталей подгрупп «б» и «в», представленных в табл. 1, характерно комплексное легирование, когда распад мартенсита сопровождается выделением частиц упрочняющих фаз двух или нескольких типов. При содержании никеля менее 12 % для того, чтобы обеспечить значительное упрочнение при старении, в состав стали вводятся хром или марганец.

Стали подгруппы «а» являются безникелевыми мартенситностареющими сталями. Их основой служат системы Fe–Cr, Fe–Mn, Fe–Mn–Cr. Среди элементов, вызывающих упрочнение при старении, фигурируют медь, титан, кремний. Введение марганца, как более экономичной замены никеля позволяет получить стали с пределом текучести $\sigma_{0,2} \leq 120$ кгс/мм².

Структуру безуглеродистого железомарганцевого мартенсита начали изучать сравнительно недавно [3,4]. В сталях, содержащих до 11 % Mn, $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение протекает по мартенситному механизму. При содержании марганца более 12 % γ -фаза переходит не в α -фазу, а в ϵ -фазу, имеющую гексагональную плотно упакованную решетку, обладающую парамагнитными свойствами. Сталь имеет структуру пластинчатого или реечного мартенсита (рис. 1)



а



б

а – пластинчатый мартенсит; б – «реечный мартенсит»
Рисунок 1 – Микроструктура железомарганцевого мартенсита

Упрочнение стали при введении марганца может быть обусловлено двумя причинами: упрочнением твердого раствора за счет растворения марганца и упрочнением, связанным с образованием мартенсита. При увеличении содержания марганца до 4% прочностные характеристики значительно повышаются.

Одной из причин высокой хрупкости железомарганцевых сталей является образование мартенсита двойникового происхождения. Однако безуглеродистая железомарганцевая сталь имеет структуру пластинчатого дислокационного мартенсита. Примером таких сталей может служить сталь Н8Г6МЗ.

В МС-сталях, хром выступает не только в качестве элемента, упрочняющего твердый раствор, но и снижающего температуру начала мартенситного превращения что в свою очередь уменьшает растворимость молибдена, титана и алюминия в мартенсите. В отличие от других элементов хром не вызывает дисперсионного твердения мартенсита, что позволяет вводить его в любом количестве, не опасаясь внезапного появления хрупкости. В системе Fe–Cr граница двухфазной аустенитно-мартенситной области существует при суммарном содержании хрома в количестве 20-22 %. Для мартенситно-стареющих сталей содержание хрома не должно превышать 12-15 % (Рис. 2) [5].

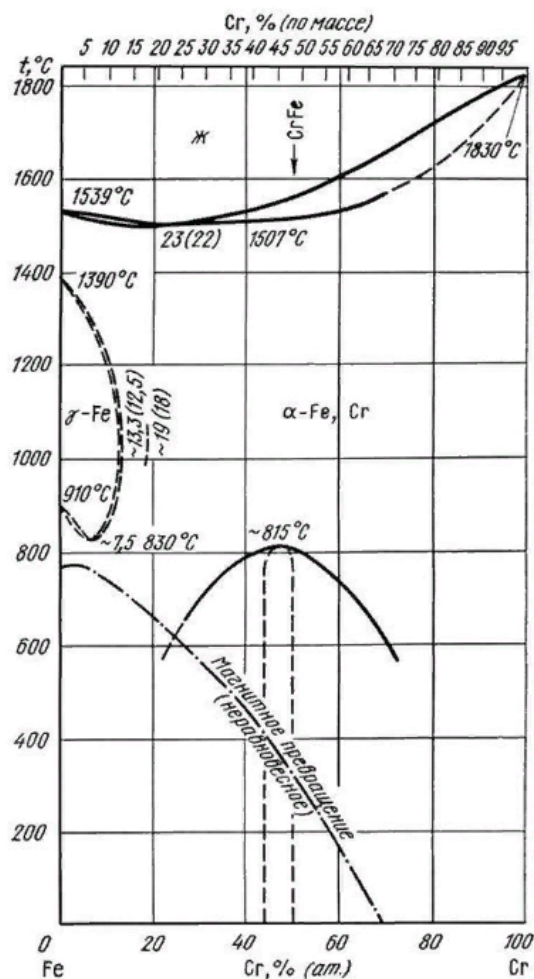


Рисунок 2 – Границы фазовых областей в системе Fe–Cr

Дополнительное введение хрома в такие стали приводит к повышению временного сопротивления до 100 кгс/мм^2 , но отношение предела текучести к пределу прочности ($\sigma_{0,2}/\sigma_B$) практически не изменяется и составляет 0,75-0,77.

В качестве легирующего элемента в МСС активно используется медь (Cu). Растворимость меди в α -железе составляет десятые доли процента при комнатной температуре и значительно повышается при температуре около 850°C . Структуру мартенсита замещения получают при закалке в соляном растворе при содержании меди в сплаве около 2%. При содержании меди в количестве 5-6 % масс. мартенсит замещения получают охлаждением на воздухе. Твердость мартенсита после закалки максимальна при нагреве до температур, близких к границе двухфазной зоны. При более низких температурах образуется массивный феррит. Переход от структуры массивного феррита к мартенситу для сталей системы Fe-Cu сопровождается снижением температуры до $400\text{-}450^\circ\text{C}$, при которой достигается максимум твердости (Рис. 3).

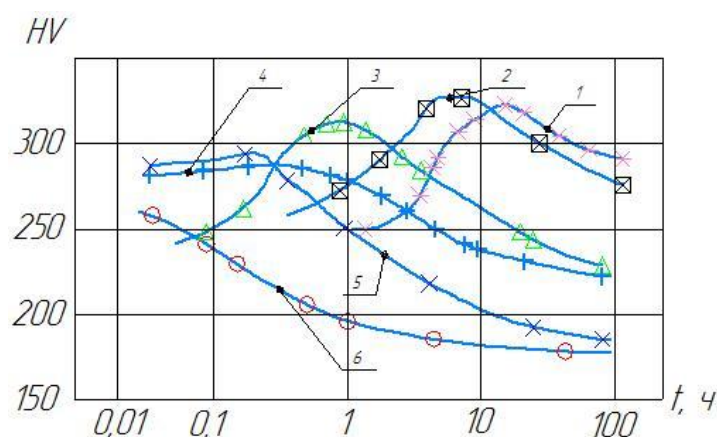


Рисунок 3 – Кинетика старения стали Fe+2 % Cu при температурах, $^\circ\text{C}$: 1 – 425, 2 – 450, 3 – 500, 4 – 550, 5 – 600, 6 – 700

В твердых растворах железа, ванадий (V), подобно молибдену способствует упрочнению при старении. Введение ванадия в мартенситно-стареющие стали практически не влияет на твердость после старения. Малые добавки ванадия в сталь, более эффективны. Введение в хромомарганцевую структуру ванадия позволяет улучшить механические свойства при комнатной и низкой температурах (рис. 4).

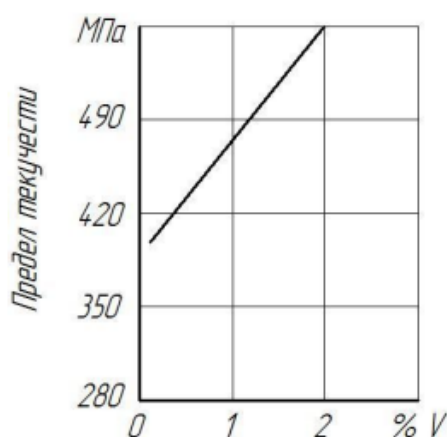


Рисунок 4 – Влияние ванадия на предел текучести в стали

Таким образом, проведенный анализ показывает что наиболее подходящей основой состава мартенситно-старяющего металла для наплавки являются безникелевые стали содержащие Mn в количестве до 7% масс. и Cr в количестве 12% масс, с дополнительным легированием V, Cu.

Наиболее перспективной матрицей экономнолегированных старяющих сталей является сталь X12Г7Ф3Д2.

Библиографический список:

1. Русаненко В.В., Еднерал А.Ф. Многофункциональные мартенситно-старяющие сплавы // ФММ, 2003. Т. 6. Вып. 1. С. 108-113.
2. Перкас, М.Д. Высокопрочные мартенситостаряющие стали / М.Д. Перкас, В.М. Кардонский. – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.
3. Гольдштейн, М. И. Специальные стали / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
4. Кальянов, В.Н. Мартенситно-старяющие стали для наплавки штампов / В.Н. Кальянов, В.А. Багров // Сварочное производство. – 2003. – №2. – С. 35–37.
5. Гудремон Э. Специальные стали / Э. Гудремон. – Москва: Металлургиздат, 1959.