

Применение дисперсионно-твердеющих Cr-Ni-Si-сталей

для элементов затворов и наплавки уплотнительных поверхностей арматуры ТЭС и АЭС

В.С. Степин, к.т.н., Е.Г. Старченко, к.т.н., ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», А.П. Андреев, к.т.н., ЗАО «Фирма «Союз-01»

Надежность и долговечность работы трубопроводной арматуры для ТЭС и АЭС во многом определяется стойкостью наплавленных уплотнительных поверхностей её запорного или регулирующего органа, которая, в свою очередь, зависит от свойств материала и качества выполнения твердой наплавки.

Многолетний опыт применения наплавочных сплавов на основе аустенитно-ферритных дисперсионно-твердеющих Cr-Ni-Si-сталей для уплотнительных поверхностей деталей затворов арматуры АЭС показал, что они надежно заменяют широко применяющиеся для этой цели за рубежом сплавы на основе кобальта (стеллит). Для ручной наплавки применяются покрытые электроды марок ЦН-6Л (металл типа 10X16H9C6Г) и ЦН-12М (типа 10X17H8M5C5Г4Б) по ГОСТ 10051, разработанные в ЦНИИТМАШ. Металл, наплавляемый этими электродами, а также электродами других марок: ЦН-24, ЦН-12М/К2 по ОСТ 24.948.01-90, имеет разную твердость и предназначен для различных условий работы, температуры среды и удельных давлений [1].

Указанные стали имеют высокую стойкость против коррозионного и эрозионного износа и задирания в пароводяной среде высоких параметров и сохраняют свои характеристики в течение длительного срока эксплуатации.

Обеспечить требуемую твердость при наплавке Cr-Ni-Si-сталей сложнее технологически, нежели при наплавке твердыми сплавами на основе кобальта или никеля. Исследования и опыт применения этих сталей показывают, что наплавленные покрытия с более высоким уровнем твердости показывают более высокую противозадирную стойкость, но стойкость их против трещинообразования и технологичность при этом падает, особенно резко при твердости выше 45 HRC.

Поэтому в наплавленном металле не допускается наличие включений и пор. В определенных пределах в зависимости от размера уплотнительной поверхности допускаются отдельные мелкие включения не более 1,5 мм.

Для предотвращения растрескивания наплавленных поверхностей при наплавке применяется

высокотемпературный подогрев деталей. Температура подогрева при наплавке Cr-Ni-Si-сталей с твердостью 40-50 HRC может составлять до 500° С и более, что делает процесс весьма трудоемким, особенно при ручной наплавке массивных деталей.

Подогрев ведет к увеличению размеров и продолжительности существования сварочной ванны, что вызывает потери химически активных к кислороду легирующих элементов. Твердость наплавочных Cr-Ni-Si-сталей резко зависит от содержания в их составе легирующих элементов – кремния и хрома (см. рис. 1), от количества ферритной фазы и степени её распада при нагреве. Поэтому приходится жестко регламентировать температурно-временные режимы наплавки и нагрева деталей, включая режим последующей термической обработки.

В зависимости от марки основного металла наплавляемых деталей назначается соответствующий режим отпуска, который, учитывая характер дисперсионного твердения, может быть откорректирован.

На рис. 2 представлена зависимость твердости наплавленного металла типа 08X17H8C6Г (ЦН-6Л) и 13X16H8M5C5Г4Б (ЦН-12М) от режимов отпуска при 845-875° С – для деталей из сталей аустенитного класса,

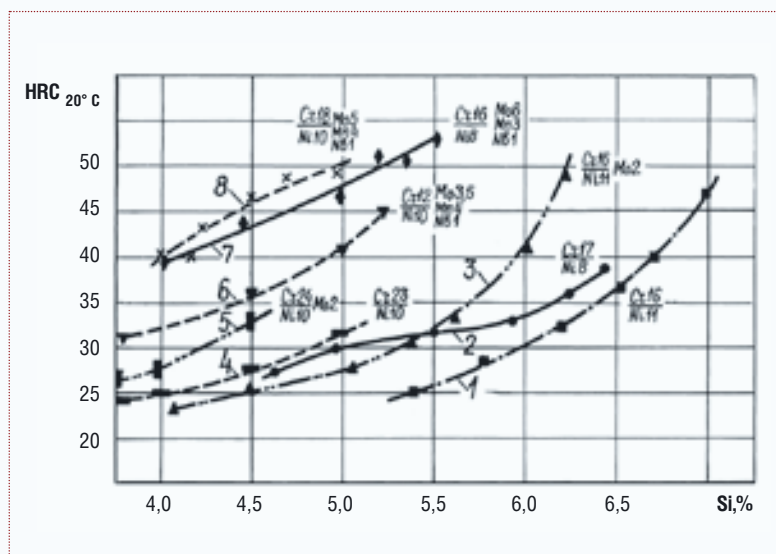


Рис. 1. Влияние содержания кремния на твердость наплавочных сплавов: 15X16H11C6Г - 1, 08X17H8C6Г - 2, 15X16H10C5M3Г - 3, 15X23H10C4Г - 4, 15X24H10C4M2 - 5, 08X12H10M4C4Г4Б - 6, 08X16H8M6C5Г4Б - 7, 15X18H10M5C5Г4Б - 8

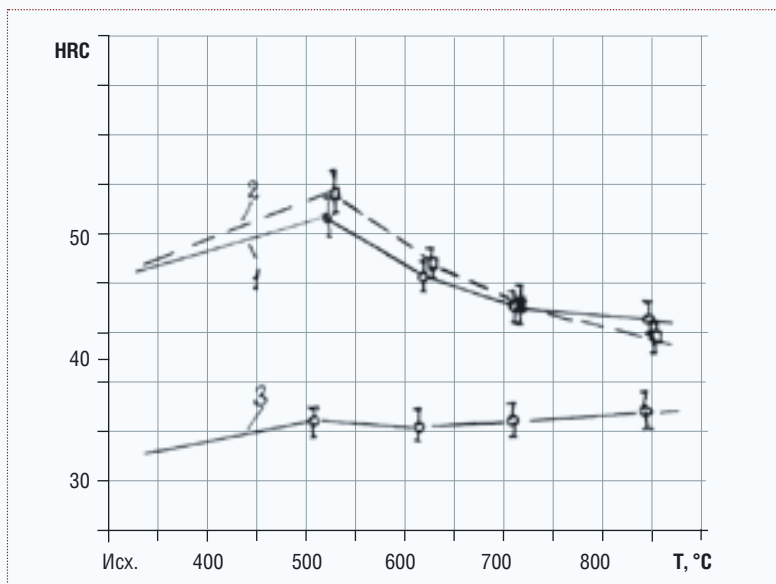


Рис. 2. Влияние режимов отпуска на твердость наплавочных сплавов 08X17H8C6Г (ЦН-6Л) 1 – выдержка 2 ч, 2 – выдержка 5 ч, 3 – 13X16H8M5C5Г4 (ЦН-12М)

715-745° С – для деталей из теплоустойчивых сталей типа 12X1MФ, 15X1M1Ф и др., 625-655° С – для деталей из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей перлитного класса и 500-550° С – для деталей из сталей аустенитного и перлитного классов.

Склонность Cr-Ni-Si-сталей к дисперсионному твердению не изменяется от способа наплавки, но несколько меняется степень термического упрочнения. Величина твердости после отпуска при прочих равных условиях зависит от исходного состояния металла: содержания ферритной фазы и размеров зерен. С увеличением продолжительности отпуска при температурах от 500 до 650° С твердость повышается, а при более высокой температуре от 700 до 900° С после 2-3 часов выдержки она начинает снижаться вследствие коагуляции упрочняющих дисперсных интерметаллических фаз и карбидов.

Металл, напавленный в условиях высоко-температурного подогрева, при отпуске упрочняется в меньшей степени по сравнению с напавленным металлом того же состава в условиях быстрой кристаллизации сварочной ванны.

В равной мере эти положения относятся к механизированным процессам наплавки.

В таблице 1 приведены различные методы механизированной наплавки деталей арматуры и наплавочные материалы, применяемые на российских арматурных заводах.

В качестве примеров можно отметить внедренные на заводах производительные способы механизированной наплавки:

- тарелок задвижек DN 100-600 электродной профилированной лентой из стали 15X18H12C4ТЮ (ЭИ 654) в сочетании с плавлено-керамическим легирующим флюсом (ПКНЛ-128), обеспечивающей в первом слое толщиной 5-7 мм напавленный металл типа 15X16H9C6Г с твердостью 30-43 HRC,
- корпусов клапанов DN 20-65 сварочной проволокой марки Св-13X14H9C4Ф3Г (ЭК 119) в среде аргона, обеспечивающей твердость напавленного металла во 2-м слое 27-33 HRC.

Использование проволоки марки ЭК-119 позволило по разработанной в НПО «ЦНИИТМАШ» технологии осуществить на ряде АЭС ремонтную наплавку в аргоне уплотнительных поверхностей: седел клапанов ИПУ КД фирмы «Бопп-Ройтер», шпинделей главных запорных задвижек и других деталей арматуры, что существенно продлило ресурс их эксплуатации. Коэффициент эрозионной стойкости напавленного металла, выполненного этой проволокой, в 1,5 раза превышает указанную характеристику для стали 12X18H10Т в потоке питательной воды (200° С, 18 МПа, скорость потока 120 м/с).

Типы напавленного металла	Способы автоматической наплавки	Наплавочные материалы, марки	Количество слоев наплавки	Твердость напавленной поверхности, HRC
Сталь типа 08X17H8C6Г	Дуговой под флюсом или в среде аргона	Порошковые проволоки: ПП-АН-133, SK AF Antinit Dur 290	3-4	30-40
Аналог электродов марки ЦН-6Л	Дуговой под керамическим флюсом ПКНЛ 128	Лента 15X18H12C4ТЮ (ЭИ 654)	1	30-44
Сталь типа 13X16H8M5C5Г4Б	Дуговой под флюсом или в среде аргона	Порошковая проволока SK(УТР) AF Antinit Dur 500	3-4	40-50
Аналог электродов марки ЦН-12М	Дуговой под флюсом	Порошковая лента ПП-АН-150	3	40-50
	Плазменно-порошковый	Порошок DS ZN12 Hoganas X-FeSP573	2-3	40-50
Сталь типа 13X14H9C4Ф3Г Аналог электродов марки ЦН-24	Дуговой в среде аргона	Проволока Св-13X14H9C4Ф3Г (ЭК 119)	2	27-30
Сталь типа 15X18H11C4M2	Дуговой под флюсом или в среде аргона	Проволока Св-10X18H11C5M2ТЮ (ЭП 987)	2	26-31
Сплав на основе никеля типа 50NH15C3P2	Плазменно-порошковый	Порошки: ПГ-ХН15СР2, ПГ-ХН16СР3, Deloro Alloy 45	2	40-50

Таблица 1. Способы механизированной наплавки и наплавочные материалы, применяемые для уплотнительных поверхностей деталей затворов арматуры АЭС и ТЭС для пароводяной среды высоких параметров

Режим термообработки		Температура испытания °С	Механические свойства					
Операция	Температура, °С		σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²	НRC
Закалка	1120	20	700	950	28	60	0,5	24-28
		20						29-35
Отпуск	650-860	200	700	950	28	60	0,4	
		400	600	760	30	55	0,6	26-28
		600	520	570	28	65	1,0	23-25

Таблица 2. Механические свойства стали ЭП 987 (средние значения)

Использование Cr-Ni-Si сварочной проволоки марки ЭИ-654 в качестве стержней покрытых электродов ЦН-12М/К2 и ЦН-24 позволило повысить химическую однородность и стабильность свойств наплавленного металла.

Однако, за последние годы объемы применения ленты и проволоки из указанных сталей на арматурных заводах резко сократились. Ухудшилось качество поставляемой сварочной проволоки, что отразилось на увеличении стоимости наплавочных работ.

Порошковые проволоки и ленты марок ПП-АН 133, ПП-АН 157, ПЛ АН-150, ПЛ АН-151 не получили широкого распространения из-за нестабильного состава.

В последнее время для механизированной наплавки все большее применение в стране находят высококачественные импортные порошковые проволоки и гранулированные порошки из Cr-Ni-Si-сталей.

Для получения наплавленного металла типа 10X17H8M5C5Г4Б (ЦН-12М) с твердостью 40-50 HRC используют порошковую проволоку марки SK (UTP) AF Antinit Dur 500 при наплавке под флюсом или в аргоне при дуговой и плазменной наплавке. Проволока поставляется по техническим условиям ТВ № 02/00 диаметром 1,6, 2,0, 2,4 и 2,8 мм.

Заданная твердость достигается в 3-м слое общей высотой 6-8 мм. Процесс наплавки характеризуется высокой стабильностью. Качество наплавленного металла отвечает требованиям, предъявляемым к уплотнительным поверхностям арматуры АЭС. Наплавленные покрытия стойки против задиранья, коррозии и эрозии без ограничений для всех контуров.

Для получения наплавленного металла типа 10X16H9C6Г (ЦН-6Л) с твердостью 30-40 HRC осваивается наплавка новой порошковой проволокой марки SK AF Antinit Dur 290. Эта проволока также изготавливается диаметром от 1,6 до 2,8 мм и может применяться как в среде защитного газа (аргона, смеси аргона с кислородом или CO₂), так и под плавленным флюсом (АН-26С).

Эта проволока может также найти эффективное применение при наплавке в защитном газе методом МИГ уплотнительных поверхностей корпусов клапанов из сталей перлитного и аустенитного классов.

Для плазменно-порошковой наплавки в последнее время все большее применение находят порошки марок DS ZN12, а также

Hoganas X-FeSP573. Грануляция порошка составляет от 63 до 150 мкм. Твердость свыше 40HRC для наплавленного металла типа 10X17H8M5C5Г4Б (ЦН-12М) обеспечивается во 2-м и 3-м слоях. Данная наплавка характеризуется высококачественным формированием слоев металла и отсутствием в нем дефектов, не уступая покрытиям из сплавов на основе никеля и кобальта.

В процессе разработки и изготовления сварочной проволоки марки Св-10X18Н12С4ТЮ (ЭП 987) в ЦНИИТМАШ, ВНИИАМ, НПО ЦКТИ и ВНИИГИДРОМАШ были исследованы механические, коррозионные, эрозийные и противозадирные свойства стали на образцах, вырезанных из поковок. Было установлено, что: коэффициент эрозионной стойкости в потоке питательной воды для неё составляет 1,3 относительно стали 08X18H10T, кинетика каплеударного изнашивания этой стали аналогична стеллиту ВЗК, коэффициент относительной эрозионной стойкости, определенный при кавитационном воздействии высокой интенсивности, в несколько раз превышает характеристику стали 14X17H2, стойкость против задиранья при температурах до 550° С и удельном давлении до 80 МПа и термостойкость аналогичны наплавленному металлу типа 10X16H9C6Г (ЦН-6Л) [2].

Механические свойства стали ЭП 987 представлены в *таблице 2*.

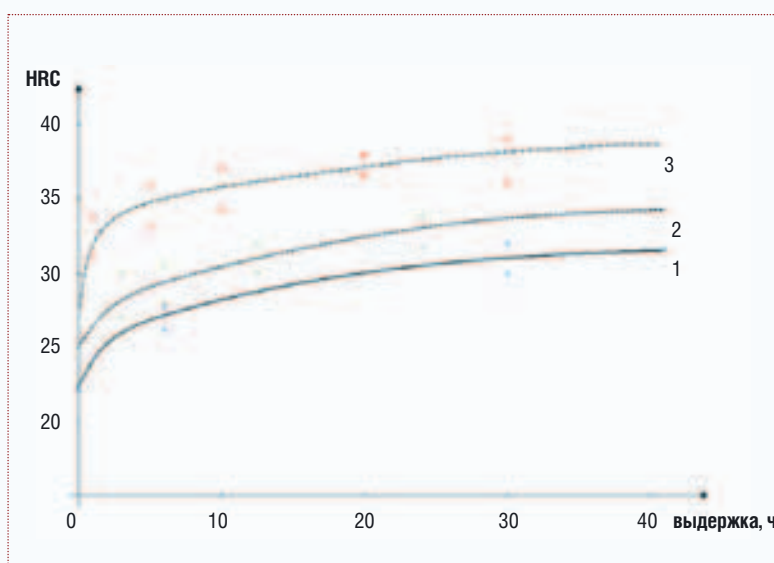


Рис. 3. Влияние выдержки при температуре отпуска 650° С на твердость стали ЭП 987. Исходное состояние – после закалки T = 1120° С. Варианты составов (средние значения легирующих элементов):
 1 – Cr 17,0%, Ni 12,0%, Si 4,2%, Mo 2,0%, Mn 1,5%;
 2 – Cr 18,0%, Ni 11,0%, Si 4,6%, Mo 2,5%, Mn 1,5%;
 3 – Cr 19,0%, Ni 10,0%, Si 4,8%, Mo 2,5%, Mn 1,5%.

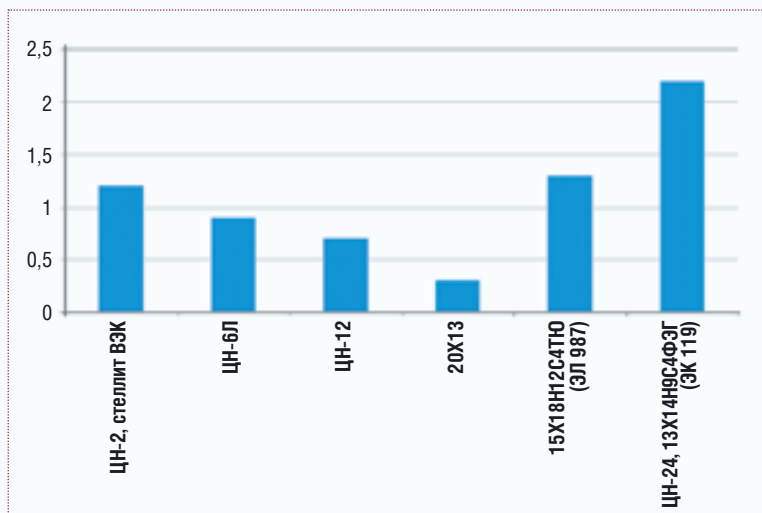


Рис. 4. Эрозионная стойкость твердых наплавов и сталей относительно стали 08X18H10T

На рис. 3 показана зависимость твердости стали ЭП 987 от режима термической обработки.

Из прутков диаметром 40-60 мм на ОАО «ЧЗЭМ» были изготовлены седла и золотники клапанов, которые прошли стендовые заводские испытания и положительное опробование на ТЭС при больших перепадах среды.

В настоящее время сталь ЭП 987 нашла применение для элементов затворов клапанов, изготавливаемых на

ЗАО «Фирма «Союз-01» без выполнения твердой наплавки уплотнительных поверхностей. Многолетний опыт эксплуатации подтвердил работоспособность изделий при эксплуатации их на ГРЭС и ТЭС для воды и пара высоких параметров.

Для сварки элементов из стали ЭП 987 с корпусом и штоком клапанов из хромоникелевых аустенитных сталей может применяться сварочная проволока марки Св-04Х19Н11М3 или электроды марок ЭА 400/10Т, ЭА 400/10У.

Поставка горячекатаных прутков из стали ЭП 987 осуществляется по техническим условиям завода «Электросталь».

В работе принимали участие: Дворцов В.Н., Агеев К.М., Турутин С.А., Шалобасов И.А., Ивницкий Б.Я.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рунов А.Е., Старченко Е.Г., Степин В.С., Чертков Н.А. Использование наплавочных твердых Fe-Cr-Ni-Si сплавов в энергетическом арматуростроении // Энергомашиностроение, 1979, №7 с.24-27.
2. Ивницкий Б.Я. Материалы уплотнительных поверхностей затворов арматуры ТЭС и АЭС. Москва: НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, Энергетическое машиностроение. 1985. Выпуск 6.