

# ПОВЫШЕНИЕ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ ХРОМОНИКЕЛЬКРЕМНИСТОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НАНОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Ю.И. Лопухов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

При эксплуатации трубопроводной арматуры, в результате схватывания между собой отдельных участков трущихся поверхностей «металл-металл», образуются задиры, которые вызывают интенсивный износ уплотнительных поверхностей, приводящий к разгерметизации затвора и утечке рабочей среды. Развитая активная металлическая поверхность задиров в зависимости от вида и параметров рабочей среды является также очагом кавитационных, эрозионных, коррозионных и других видов разрушений, что еще больше усложняет эксплуатацию такой арматуры, снижает ее ресурс и надежность работы. Определяющим фактором задиристости конструкционных материалов является тип легирования, структура и свойства наплавленного металла, а также параметры рабочей среды.

С целью получения сопоставимых данных служебных свойств хромоникелькремнистого наплавленного металла типов 10X17H8C5Г2Т и 10X20H9C5M2PГТ, легированного азотом в процессе газозлектрической дуговой наплавки из защитной азотсодержащей атмосферы, проводили комплексные экспериментальные исследования для условий близким к рабочим. Наплавку образцов выполняли на стали Ст3СП и 25Л порошковыми проволоками ПП-АН 133(ТУ ИЭС 511-85) и ПП-АН 157(ТУ ИЭС429-84) в защитных газах: Ar, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и смесях CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>

Испытания на стойкость к задиранию наплавленных поверхностей проводились в паровой среде при температуре 350<sup>0</sup>С и удельном давлении 80 ...100 МПа на стенде Всесоюзного научно-исследовательского института атомного машиностроения путем моделирования процесса контактного взаимодействия «металл-металл» уплотнительных поверхностей деталей затвора арматуры. С этой целью использовали стенд, схема которого приведена на рис. 1.

Конструктивно он представляет собой рабочую камеру I, в которой сверху расположен шпindelъ 4, имеющий в основании диск 5, с элементами крепления верхнего напла-

вленного образца 6. В нижней части камеры размещен плавающий диск 8 с элементами крепления нижнего наплавленного образца 7. Реверсивное вращение шпинделя с верхним образцом относительно неподвижного нижнего осуществляется электродвигателем 3 через коробку передач 2, служащую для изменения скорости взаимного относительного перемещения образцов. Изменение рабочего давления на контактных поверхностях образцов создается плунжером 9 масляного пресса 10. Механизм нагрузки обеспечивает рабочее давление во всем диапазоне нагрузок, имеющих в реальных узлах затворов арматуры. Стенд позволяет проводить испытания образцов паром при температурах до 500<sup>0</sup>С и давлении 2 МПа.

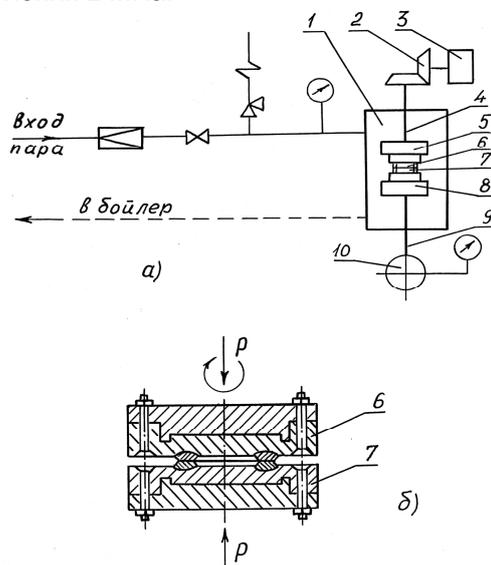


Рисунок 1 – Схема испытания материалов на стойкость к задиранию

- а) кинематическая схема установки;  
б) расположение испытываемых образцов.  
1 – рабочая камера; 2 – коробка передач;  
3 – электродвигатель; 4 – шпиндель; 5 – верхний диск с элементами крепления образца;  
6 – верхний подвижный образец; 7 – нижний неподвижный образец; 8 – нижний плавающий диск с элементами крепления образца; 9 – плунжер; 10 – масляный пресс с манометром

Перед установкой испытуемых образцов в рабочую камеру измеряли твердость и шероховатость контактируемых наплавленных поверхностей на твердомере ТК-2 по шкале HRC и профилометре М-201 по параметру Ra. Для экспериментов отбирали пары образцов, имеющие колебания твердости не более  $\pm 3$  ед. HRC и отклонения Ra в пределах одного класса шероховатости Ra=0.16 мкм. С целью устранения влияния микрогеометрии поверхности образцов на характер их взаимодействия на контрольной плите проверяли плоскостность поверхностей контакта. Допустимые значения пятна контакта принимали не ниже 75-80%.

Непосредственно перед каждым испытанием рабочие поверхности образцов обезжировали, после чего их помещали в камеру, в которую подавали пар котлов промышленной ТЭЦ. При достижении заданной температуры начинали испытания образцов. Температуру и давление контролировали потенциометром типа КСП-4 и манометром с классом точности  $\pm 0,5$  соответственно. Средняя скорость вращения образцов составляла 3,5 м/с, общая длина перемещения образцов за каждый цикл испытаний - 15,7 мм.

Минимальная удельная нагрузка, при которой начинали испытания, составляла 10 МПа. Затем нагрузку повышали ступенчато через 10 МПа до наступления задира или достижения заданной величины удельного давления. После испытания определяли площадь контакта (трения) образцов и глубину задира. Измерения проводили с помощью микроскопа МИС-11.

Критерием стойкости к задиранию условно принимали появление на рабочей (контактной) поверхности образцов задира глубиной 10 мкм и более. Удельную нагрузку, вызывающую задира указанной величины, считали максимально допустимой для данного материала.

Из представленных данных (табл. 1) следует, что все пары образцов сплава 10X17H8C5Г2Т кроме образцов, наплавленных в атмосфере аргона, обладают высокой стойкостью против задира при удельных давлениях 91,2 ... 96,6 МПа. Но все же лучшими свойствами обладает металл, наплавленный проволокой ПП-АН133 в атмосферах 50%N<sub>2</sub> + 50%CO<sub>2</sub> (96,0 МПа) и 70%N<sub>2</sub> + 30%CO<sub>2</sub> (96,6 МПа). При испытании разноименных пар образцов сплавов-нитриков 10X17H8C5Г2АТ + 10X20H9C5M2PГАТ высокие противозадирные свойства (93,0 МПа) зарегистрированы в металле, наплавленном соответствующими проволоками в смеси газов 50%N<sub>2</sub> + 50% CO<sub>2</sub>.

Противозадирные свойства одноименной пары из сплава 10X17H8C5Г2АТ, легированного азотом из азотсодержащей защитной атмосферы, не уступают этим свойствам при испытании разноименных пар образцов сплавов без азота 10X17H8C5Г2Т + 10X20H9C5M2PГ.

Повышение противозадирных свойств хромоникелькремнистого наплавленного металла-нитрика связано с получением более однородной структуры при наплавке в азотсодержащих средах. В структуре сплавов, легированных азотом, изменяется количественное соотношение  $\alpha$  и  $\gamma$  - фаз в сторону увеличения аустенита (табл. 2).

Сплав 10X17H8C5Г2АТ, легированный азотом из газовой фазы в процессе газозлектроической наплавки, характеризуется образованием мелкодисперсных равномерно распределенных карбонитридных частиц в аустенитной матрице (рис. 2), что вызывает эффект упрочнения. Проведенные исследования на микроскопе ИБАС-2000 фирмы «Оптон» показали, что в наплавленном металле 10X17H8C5Г2АТ, зарегистрировано достаточное количество мелкодисперсных карбонитридов и прочих частиц размером 0,8 ... 3,5 мкм (табл. 3, рис. 2). Наибольшее количество карбонитридов получено при наплавке в защитных средах 70%N<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub> и 50%N<sub>2</sub> + 50% CO<sub>2</sub>, наименьшее - в аргоне. Повышение противозадирных свойств хромоникелькремнистого наплавленного металла связано с получением более однородной структуры при наплавке в азотсодержащих средах. В структуре сплавов, легированных азотом, изменяется количественное соотношение  $\alpha$  и  $\gamma$  - фаз в сторону увеличения аустенита в аргоне.

Следует подчеркнуть, что увеличение После процентного содержания азота в защитной смеси газов повышает дисперсность карбонитридных частиц в наплавленном металле.

Эффект нанонитридного упрочнения связан в основном с образованием мелкодисперсных твердых нитридов и карбонитридов титана с решеткой, когерентной решетке аустенита и обеспечивает в ней их прочное зацепление. Титан обладает сильным сродством к азоту и в ходе кристаллизации металла приводит к образованию нитридов и карбонитридов. Они являются тугоплавкими и твердыми соединениями и равномерно распределяются в аустенитной матрице.

При этом установлено, что максимальное количество нитридов регистрируется в сплаве полученном наплавкой, в защитных атмосферах 50%N<sub>2</sub> + 50% CO<sub>2</sub> и 70%N<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub>.

ПОВЫШЕНИЕ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ ХРОМОНИКЕЛЬКРЕМНИСТОГО НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НАНОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

После лабораторных исследований были проведены ресурсные испытания трех задвижек Ду 80мм Ру 6,3 МПа на парогидравлическом стенде ВНИИАМа. Уплотнительные поверхности седел корпуса и тарелок клина трех задвижек были наплавлены износостойкими сплавами, соответственно 10X17H8C5Г2АТ и 10X19H9C5M2РГАТ в защитной азотсодержащей с углекислым газом атмосфере. Испытания на ресурс проводились при рабочих температурах среды: давление пара - 2,2 МПа, температура -425С.

стойкими сплавами, соответственно 10X17H8C5Г2АТ и 10X19H9C5M2РГАТ в защитной азотсодержащей с углекислым газом атмосфере. Испытания на ресурс проводились при рабочих температурах среды: давление пара - 2,2 МПа, температура -425С.

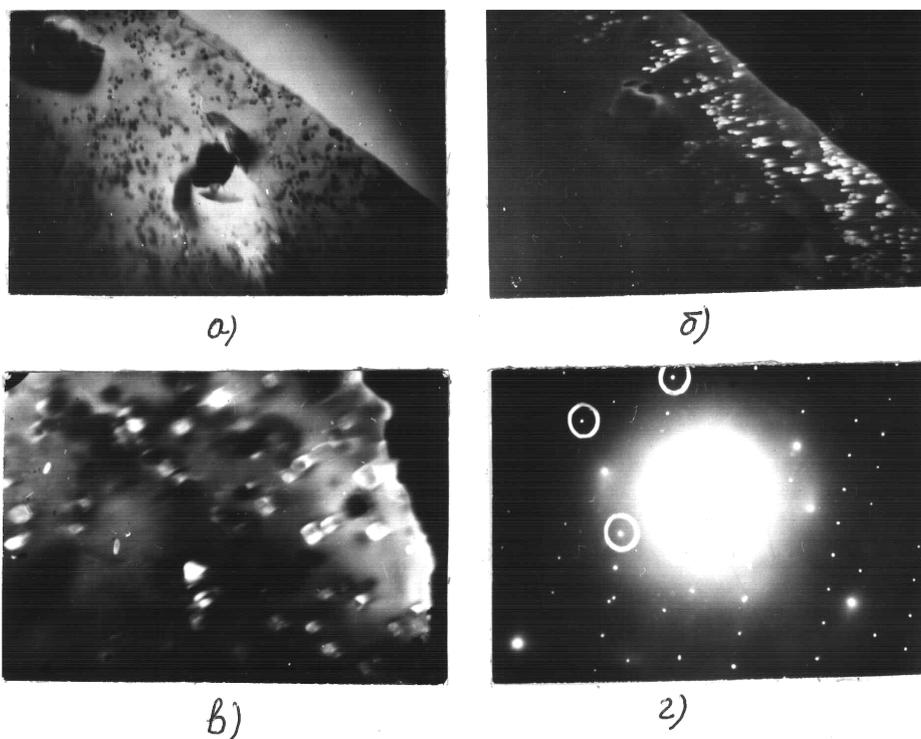


Рисунок 2 – Карбонитридные наночастицы в твердом растворе хромоникелькремнистого наплавленного металла (проволока ПП-АН133, азотсодержащая среда состава 70%N<sub>2</sub> + 30%CO<sub>2</sub>

Термообработка 80%-1300<sup>0</sup>С – вода – 700<sup>0</sup>С – 1 час – охлаждение с печью.

а) светлое поле х6000;

б) темное поле в рефлексе (220) х6000;

в) темное поле в рефлексе (220) х20000;

г) микродифракционная картина С=50,6.

Таблица 1 – Противозадирные свойства исследуемых сплавов

Тип сплава исследуемых пар образцов	Защитный газ, при наплавке, %	Твердость, HRC <sub>3</sub>	Удельные нагрузки, вызывающие задир более 10 мкм, Мпа
10X17H8C5Г2Т	100 Ar	36	57,7
	100 CO <sub>2</sub>	32	71,2
	100 N <sub>2</sub>	36	93,0
	50N <sub>2</sub> +50CO <sub>2</sub>	35	96,0
	70CO <sub>2</sub> + 30N <sub>2</sub>	33	93,0
	70N <sub>2</sub> +30CO <sub>2</sub>	35	96,6
10X17H8C5Г2Т (нижний)	100 N <sub>2</sub>	32/36	70,0
10X20H9C5M2РГТ (верхний)	70N <sub>2</sub> +30CO <sub>2</sub>	35/38	77,0

Таблица 2– Фазовый состав стали 10X17H8C5Г2Т в зависимости от состава защитной атмосферы

Защитная атмосфера, %	Количество, %	
	Аустенит	Феррит
100 Ar	33	67
100 CO <sub>2</sub>	39	61
70CO <sub>2</sub> + 30N <sub>2</sub>	48	52
50CO <sub>2</sub> + 50N <sub>2</sub>	55	45
70N <sub>2</sub> + 50CO <sub>2</sub>	72	28
N <sub>2</sub>	59	41

Таблица 3 – Неметаллические включения в металле, наплавленном в различных атмосферах проволокой ПП-АН133

Защитная атмосфера, %	Вид включений	Неметаллические включения				
		Занимаемая площадь, мкм	Кол-во, шт.	Сред. размер, мкм	Максим. размер, мкм	Миним. размер, мкм
CO <sub>2</sub>	нитриды	0,305	75	1,816	3,251	1,876
	прочие частицы	1,207	86	1,786	3,726	1,921
N <sub>2</sub>	нитриды	0,479	105	1,398	3,102	0,888
	прочие частицы	0,285	24	1,694	4,221	0,973
50N <sub>2</sub> + 50CO <sub>2</sub>	нитриды	1,404	210	1,380	4,510	0,888
	прочие частицы	0,302	18	1,501	2,722	0,973
70CO <sub>2</sub> + 30 N <sub>2</sub>	нитриды	0,404	98	1,380	2,751	0,888
	прочие частицы	0,439	32	1,816	3,251	0,973
30CO <sub>2</sub> + 70 N <sub>2</sub>	нитриды	1,124	240	1,665	3,462	0,888
	прочие частицы	0,427	36	1,727	3,911	0,888
Ar	нитриды	0,262	40	1,981	3,896	0,887
	прочие частицы	0,143	7	1,752	4,075	0,988

После наработки 3500 циклов в положении «открыто-закрыто» на наплавленных уплотнительных поверхностях седла и клина зарегистрированы только следы равномерного натира, что свидетельствует о высоких противозадирных свойствах исследуемых сплавов с нанонитридным упрочнением. Ис-

следования показали, что легирование наплавленного металла 10X17H8C5Г2Т азотом из защитной среды составов 50%N<sub>2</sub> + 50% CO<sub>2</sub> и 70%N<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub> повышает противозадирные свойства в 1,8 раза в сравнении с металлом, наплавленным этим сплавом в среде аргона.