

Э.И.Вражд,

В.Б.Горбачев

## ЦИАНИРОВАНИЕ СТАЛИ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ, ИОНИЗИРОВАН - НОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Результаты проведенных нами исследований позволили рекомендовать производству новую технологическую схему химико-термической обработки металлов в газовой среде, ионизированной электрическим полем коронного разряда.

Принципиальная схема предлагаемого процесса заключается в следующем. В муфеле печи 3 (рис.1), по принципу коаксиальных цилиндров (рис.2), располагается электрод 5, соединенный с источником постоянного тока высокого напряжения. Вторым электродом служит заземленная вместе с корпусом печи мишень 4, выполненная в виде сетки.

Муфель нагревается до температуры процесса, в него вводится карбюризатор, а на электрод подается напряжение.

При достижении напряженности поля, равной величине электрической прочности газовой среды, возникает коронный разряд, в области которого происходит ударная ионизация. Образующиеся при этом ионы, попадая на внешнюю область короны, совместно с ионами, полученными в результате термической ионизации газовой среды, движутся в направлении заземленной мишени 4 и распределяются равномерно по всему объему муфеля печи 3.

Постоянный ток высокого напряжения подается от высоковольтной испытательной установки АИИ-70, приспособленной для работы в конкретных условиях (рис. 3).

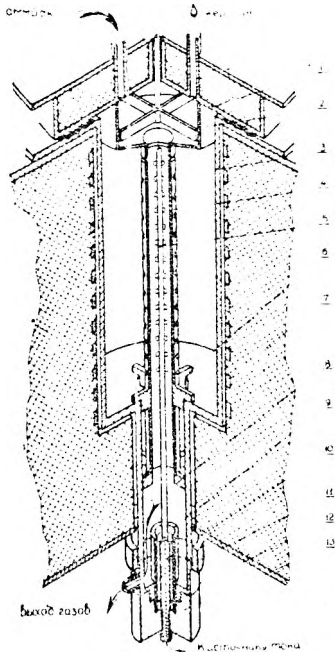


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

1-нижний фланец крышки муфеля; 2-диффузор; 3-муфель;  
4-мишень\* ионизатора; 5-коронирующий электрод; 6-опора мишени/нижняя/; 7-футеровка; 8-опора мишени/нижняя/;  
9-фарфоровый изолятор; 10-основание электрода; 11-гайка нижней трубы муфеля; 12-стакан; 13-опора-диэлектрик.

На рис. 4 приведен график зависимости напряжения на электроде, необходимого для получения коронного разряда, от температуры процесса, протекающего в сложной газовой среде.

Результаты исследования показали, что при работе с отрицательным потенциалом на электроде, для создания коронного разряда требуется напряжение в 1,5 раза большее, чем при положительно заряженном электроде.

Объяснить это положение можно влиянием объемных зарядов на развитие разряда. Вследствие малой подвижности положительных ионов у электрода с большой кривизной поверхности образуется положительный объемный заряд, который при положительно заряженном электроде удлиняется, усиливает поле в промежутке и облегчает условия пробоя.

В случае отрицательного потенциала на электроде, положительный объемный заряд, усиливая поле у электрода, в то же время ослабляет его в остальной части промежутка, что затрудняет условия пробоя и требует более высоких пробивных напряжений.

Было установлено, что, несмотря на качественную идентичность фазового состава слоя, полученного при подаче на электрод разнозначных потенциалов, наблюдается значительное различие их характера, химического состава и свойств.

Так, при подаче на электрод положительного потенциала суммарная концентрация углерода и азота в слое и его микротвердость оказались более низкими, чем у слоя, образованного при аналогичных режимах процесса, но с отрицательным потенциалом на электроде.

Объяснить это положение следует тем, что при подаче на электрод отрицательного потенциала ионы азота, обладая электроотрицательными свойствами, более активно устремляются к поверхности разогретой детали, абсорбируются на ее поверхности, диффундируют в более глубокие зоны формирующегося слоя и совместно с угле-

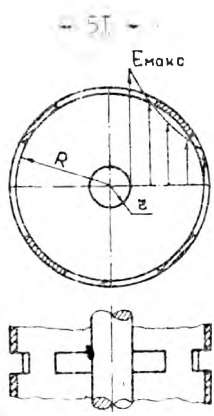


Рис.2. Напряженность электрического поля между цилиндрическими электродами:

$R$  - радиус нижнего электрода/мишени/;  
 $r$  - радиус внутреннего электрода/коронирующего/.

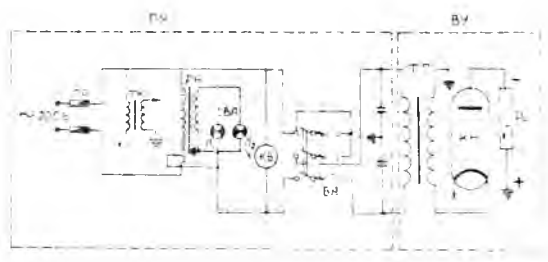


Рис.3. Схема установки АИИ-70 для получения постоянного электрического тока высокого напряжения.

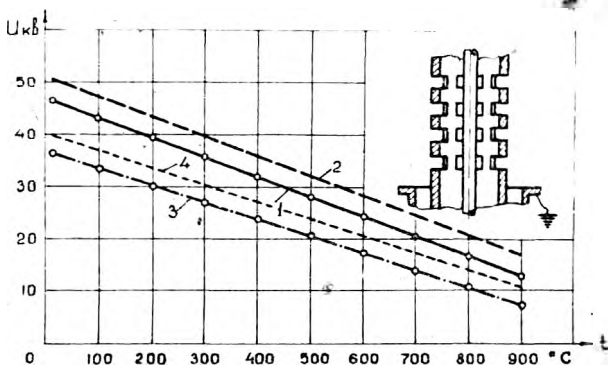


Рис.4. Зависимость величины напряжения, подаваемого на электроды, от температуры процесса:

1—коронное напряжение при отрицательном потенциале; 2—пробивное напряжение при отрицательном потенциале; 3—коронное напряжение при положительном потенциале; 4—пробивное напряжение при положительном потенциале.

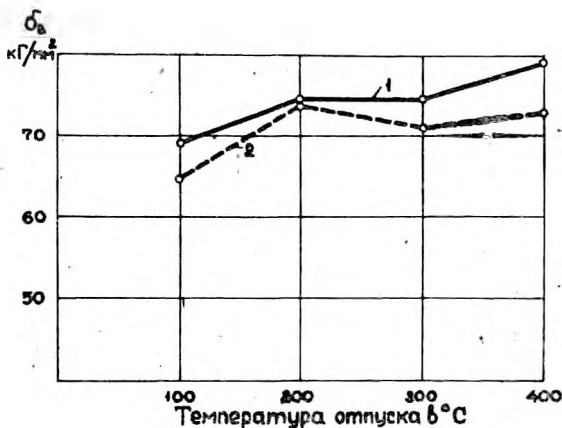


Рис.5. Влияние температуры отпуска на предел прочности при растяжении планированных образцов стали 20. 1—с ионизацией среды; 2—без ионизации.

Прочность при растяжении изучалась на образцах диаметром 6 мм на машине ГМС-50.

Результаты исследования приведены в таблице 1 и на рис.5.

Таблица 1

Вид обработки	Предел прочности $\sigma_b$ к Г/мм <sup>2</sup> при температуре отпуска °С			
	100	200	300	400
цианирование без ионизации газовой среды	65	74,3	73,2*	75
Цианирование с ионизацией газовой среды	69,8	74	75,1	78,8

Полученные результаты показывают, что при неизменном масштабном факторе распределения по сечению образца цианированного слоя и сердцевины прочность при статическом растяжении у изучаемых образцов оказалась практически одинаковой.

Показано также, что с повышением температуры отпуска предел прочности при растяжении цианированной стали 20 увеличивается.

Ударная вязкость. Испытания проводились на стандартных образцах с надрезом по Менаже.

Результаты исследования приведены на рис.6. Полученные данные показывают, что с увеличением температуры отпуска ударная вязкость увеличивается. Однако ее числовое значение остается незначительным и практически одинаковым для обеих исследуемых технологических вариантов процесса.

Прочность при статическом изгибе определялась на образцах диаметром 10 мм и длиной 180 мм с регистрацией разрушающих нагрузок и нагрузок, при которых появлялась первая трещина в слое. Предел проч -

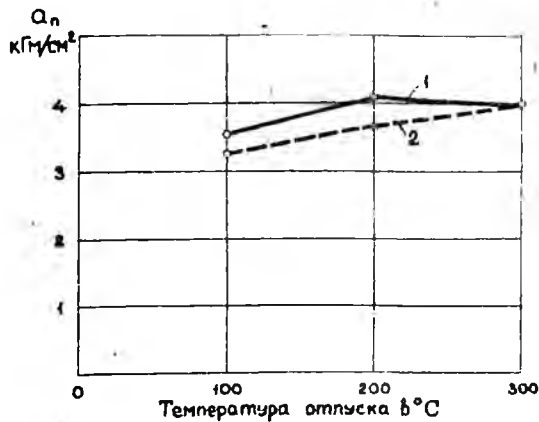


Рис.6. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость закаленной цианированной стали 20: 1-с ионизацией среды; 2-без ионизации.

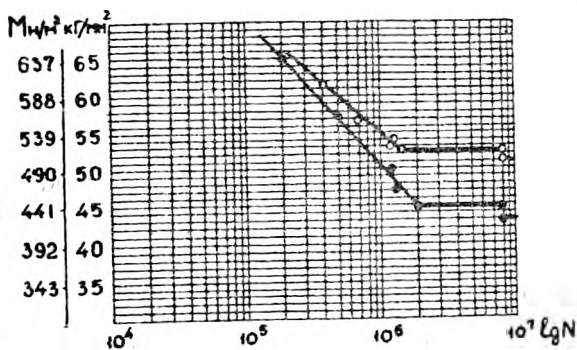


Рис.7. Предел выносливости цианированной стали 20: 1-с ионизацией среды; 2-без ионизации.

родом образуют характерные для цианированного слоя карбонитридные фазы. наличие комплекса карбонитридных фаз в сочетании со структурами закалки обеспечивает контактирующим поверхностям высокие эксплуатационные свойства.

Полученные данные позволяют нам рекомендовать осуществлять процесс цианирования в электрическом поле коронного разряда при подаче на электрод отрицательного потенциала.

Установлено также, что принятое для обычного цианирования соотношение подачи в муфель печи углеродизирующего и азотирующего газов 3 : 1 в условиях ведения процесса с ионизацией газовой среды не может быть принято. По глубине слоя, полученного при таком соотношении, наблюдается неравномерное распределение микротвердости, на поверхности образцов и стенках муфеля образуются большие отложения сажи.

Поисковые исследования показали, что при проведении цианирования с ионизацией газовой среды электрическим полем коронного разряда оптимальным соотношением подачи в муфель печи углеродазотистого карбуризатора следует считать 0,66 : 1.

Для оценки служебных свойств цианированного слоя, на основании которых возможно было бы судить о качестве деталей, обработанных по предлагаемой технологической схеме, использовался комплекс методов механических испытаний: на растяжение, статический изгиб, износостойкость, усталостную прочность и ударную вязкость.

Сравнительным испытаниям подвергались закаленные образцы, изготовленные из стали 20, цианированные по двум вариантам: без ионизации газовой среды и в ионизированной среде. Во всех случаях глубина слоя была равной 0,58-0,60 мм, твердость 62-63 НРС. Температура 100, 200, 300 и 400°C.



ности фиксировался в момент появления первой трещины.

Результаты испытания приведены в таблице 2. Полученные данные показали, что предел прочности при статическом изгибе у образцов, цианированных в ионизированной среде, на 4-5% выше, чем у образцов, обработанных по обычной технологии.

Показано, что слой, образованный в ионизированной среде, оказался на 8-10% более прочным, чем слой, полученный в неионизированной среде.

Таблица 2

вид разрушения	Предел прочности $\sigma_{ви}$ и стрела прогиба при температуре отпуска $^{\circ}\text{C}$					
	100		200		300	
	$\sigma_{ви}$ кг/мм <sup>2</sup>	$f_{мм}$	$\sigma_{ви}$ кг/мм <sup>2</sup>	$f_{мм}$	$\sigma_{ви}$ кг/мм <sup>2</sup>	$f_{мм}$
Цианирование без ионизации среды						
Образование трещины	136,0	3,5	138,0	3,5	138,8	3,7
Разрушение образца	156,0	14	156,0	14,5	158,0	15,5
Цианирование в ионизированной среде						
Образование трещины	148,3	4,2	149,7	4,6	139,2	5,2
Разрушение образования	162,5	19	171,4	19,3	161,2	20,4

Установлено, что увеличение температуры отпуска до  $200^{\circ}\text{C}$  не оказывает заметного влияния на прочность при статическом изгибе. При температуре отпуска  $300^{\circ}\text{C}$

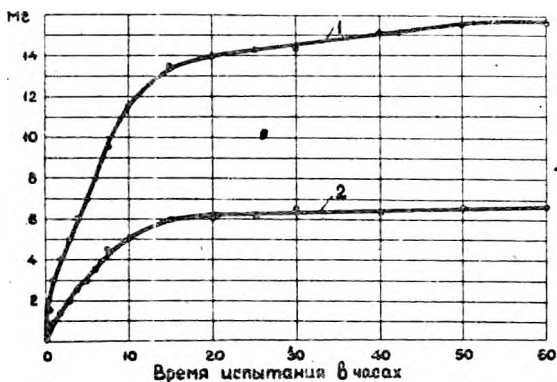


Рис. 8. Износостойкость цианированного слоя стали 20 /температура отпуска 100°C/.

1 - простое цианирование,

2 - цианирование с ионизацией газовой среды.

у образцов, обработанных в ионизированной среде, прочности понижается.

Предел выносливости определялся на закаленные образцах диаметром 8 мм, отпущенных при температуре 100°C по методике, предусмотренной ГОСТом 2860-65.

на рис. 7 приведены кривые предела выносливости образцов, цианированных в ионизированной среде (кривая 1), и при обычном процессе (кривая 2).

Установлено, что предел выносливости в первом случае оказался на 15-16% выше, чем во втором.

Износостойкость определялась на машине МИ-1 (425 об/мин ролика) при трении качения с 15% проскальзыванием с подачей дизельного масла в количестве 3-4 кап/мин.

Результаты испытания показали (рис. 9), что стойкость образцов, цианированных в ионизированной среде во всех случаях оказалась значительно выше, чем образцов, цианированных по обычной технологии.

Показано, что увеличение температуры отпуска влияет значительное влияние на повышение износа цианированного слоя.

## В ы в о д ы

1. Установлена принципиальная возможность проведения процесса цианирования в среде, ионизированной электрическим полем коронного разряда.

Предлагаемая технологическая схема отличается от существующих методов химико-термической обработки тем, что коронный разряд ионизирует газовую среду различных температур и давлений и может осуществляться на выпущаемом промышленностью стандартном оборудовании.

2. Интенсивность формирования слоя в среде, ионизированной электрическим полем коронного напряжения составляет 0,40-0,45 мм в час, т.е. в 1,5-2 раза больше, чем при обычном цианировании в газовой среде.