

化工与通用机械参考資料

尿素腐蚀研究

上海材料研究所 上海化工研究院
通用机械研究所

第一机械工业部通用机械研究所

一九七二年八月

化工与通用机械参考資料

尿 素 腐 蝕 研 究

— 4 —

编辑：通用机械研究所
出版：通用机械研究所
发行：通用机械研究所
制版：北京市制版厂
印刷：北京印刷八厂

工本费：0.50 元

化工与通用机械

参 考 资 料

1972年8月

— 4 —

第一机械工业部

通用机械研究所

目 录

一、前言.....	(1)
二、均匀腐蚀.....	(1)
三、晶间腐蚀.....	(11)
四、选择性腐蚀.....	(27)
五、应力对腐蚀的影响.....	(39)
六、結論.....	(43)

一、前 言

尿素是中性高效氮肥,是我国大型化肥生产发展的重点。由于合成尿素生产过程中介质腐蚀性很强,对设备用材要求较高。目前国内采用了先进的全循环流程,因而对用材的耐腐蚀性能也提高了要求,一般合成塔采用衬里结构。

过去在刘少奇一伙推行的反革命修正主义路线的影响下,尿素设备用材存在着盲目抄袭国外的问题。无产阶级文化大革命以来,我国工人阶级和技术人员狠批了洋奴哲学与爬行主义,把敢想敢干的革命精神和科学态度结合起来,在尿素设备制造和用材方面取得了很大成绩[1]。一九六九年兰州石油化工机器厂制成了我国第一台 $\phi 1400\text{mm}$ 衬里尿素合成塔,一九七〇年南京化工机械厂首次用国产铬锰氮不锈钢 Cr17Mn13Mo2N (A_4) 衬里制成 $\phi 800\text{mm}$ 尿素合成塔,同年,天津锅炉厂制成爆炸衬里尿素合成塔,为我国尿素设备制造技术闯出了新的道路。

随着生产的发展,要求进一步弄清尿素腐蚀行为的类型、特点,以便更好地控制与检验腐蚀。为此,我们自一九六五年起对尿素腐蚀问题进行了多次试验,主要研究高温高压尿素熔融介质的腐蚀行为,同时也对其它介质的选材问题进行了一些工作。过去曾写过一些阶段试验小结[2]、[3]、[4]、[5],本文是将以前工作进行总结。

试验用的部分试样由上海锅炉厂、天津锅炉厂、哈尔滨锅炉厂、兰州石油化工机器厂等提供。试样材料的化学成分列于表一。

由于试验室模拟试验较难准确[6],因而腐蚀试验均在南京化肥厂、泸州天然气化工厂、吴泾化工厂等尿素车间现场进行挂片,现场试验条件列于表二。腐蚀速度均取平均值。

试验室工作仅对晶间腐蚀予以检验:硫酸—硫酸铜—铜屑法和硝酸法分别按 YB44—64B 法和 E 法进行。硫酸—硫酸铁法按 ASTM A262—55T 进行。

铁素体含量用通用机械研究所制磁性测定仪测定,取平均值。

试验结果按腐蚀类型分述。其中均匀腐蚀介质较广,而晶间腐蚀、选择性腐蚀、应力对腐蚀的影响仅指高温高压熔融尿素介质而言。

二、均 匀 腐 蚀

尿素用材的关键在于合成塔,国内曾经用过 ЭИ171 、 ЭИ432 、 X8CrNiMoCu18—12 、 X2CrNiMo18—12 (或 832SFR、316L、SUS33)、317L、317+Ti、Cr18Mn10Ni5Mo3N (简称 204Mo)、Cr17Mn13Mo2N (简称 A_4)、铬镍耐酸钢和铅等。国内通用设计中套筒式曾用 ЭИ580 、衬里式现用 00Cr18Ni12Mo2 及 A_4 。因此我们对熔融尿素介质用材主要在 00Cr18Ni12Mo2 和 A_4 方面做了一些工作。在其它介质中,国内生产主要采用铬镍耐酸钢,我们也在寻找代材方面做了一些工作。

各种材料挂片的均匀腐蚀速度见表三。

表 一

序 号	材 料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Al	Ti	Re (加入量)	Fe	Sn	Mg	Be	备 注
1	SUS33	0.027					17.19	13.62	2.25										设计值
2	00Cr18Ni12Mo2	<0.03	<1	<2	<0.045	<0.03	16~18	10~14	2~3										
3	832SFR①	0.026	0.50	1.26	0.026	0.016	16.72	11.2	2.04										
4	832SFR②	0.01	0.60	1.81	0.034	0.007	17.90	14.60	2.57										
5	832SFR③	0.024	0.50	1.26	0.025	0.017	17.04	11.2	2.10										
6	317 L	0.03	0.37	1.54	0.024	0.02	18.39	14.1	3.33										
7	0Cr18Ni9	0.05	1.01	0.59	0.020	0.008	18.63	10.08					0.03						设计值
8	15—7PH	<0.1	<1	<1			14~16	6~8	2~3			0.75~1.2							
9	A ₁ ①	0.075	0.37	13.66	0.012	0.012	17.01		1.88	0.26									
10	A ₁ ②	0.08	0.36	13.67	0.018		17.27		2.12	0.26									
11	A ₁ ③	0.10	0.37	12.96	0.026	0.007	17.16	0.30	2.22	0.296	0.03								
12	204Mo	0.085	0.58	9.65	0.018	0.011	17.45	5.49	3.03	0.29									
13	C ₄ ①	0.10	1.02	13.10			17.50		1.73	0.39									N可能有误
14	C ₄ ②	<0.09	0.62	12.4			16.2		1.73	0.25	1.33			0.031					
15	H ₂ ①	0.095	1.03	8.96			17.20	3.60	3.23	0.23				0.030					
16	H ₂ ②	0.07	1.62	9.70			17.42	3.98	2.88	0.24									标准值
17	焊条Nc36L	0.03					19.0	13.0	2.4										标准值
18	焊条832SKER	0.03					18.0	14.0	2.7										
19	焊条0Cr18Ni12Mo2	0.05	0.62	1.41	0.024	0.005	19.70	11.20	2.52										标准值
20	焊条P ₅ ①	0.03					22.0	14.0	2.5										标准值

續表 一

序 号	材 料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Al	Ti	Re (加入量)	Fe	Sn	Mg	Be	备 注
21	焊条P ₅ ②	0.037	0.60	1.13	0.017	0.081	21.9	14.0	2.11										设计值
22	焊条M ₄	0.02	0.30	1.42	0.017	0.010	17.91	14.10	3.58										
23	焊条TAB1812MoC	0.017				18.78	9.50	2.06											
24	焊条10510	0.032	0.43	1.9	0.010	0.007	17.20	12.9	2.96										
25	上焊58T	<0.08					~18	~12	~2.5										
26	焊条A ₄	0.010	0.98	12.85	0.020	0.002	17.95		2.72	0.31									
27	焊条204Mo①	0.06	0.72	10.37	0.018	0.007	17.98	5.56	3.23	0.22									
28	焊条204Mo②	0.098	0.31	9.74	0.026	0.008	18.27	5.20	3.28	0.28									
29	焊条C ₄ ①	0.09	0.82	12.12	0.018	0.011	19.61		2.20		2.00								
30	焊条C ₄ ②	0.07	1.28	12.78	0.016	0.005	18.87		2.26	0.26									
31	焊条H ₂ ①	0.10	1.12	9.28	0.017	0.011	19.71	2.60	3.28	0.34	2.27								标准值
32	焊条H ₂ ②	0.07	1.28	10.24	0.020	0.008	17.26	3.83	3.46	0.25					0.3				
33	钛BT-1		0.15										其余		0.3				
34	钛BT-5		0.15									4.5~5.5	"		0.3				
35	钛BT-10										3	5.50	"			2.5			
36	L ₂		<0.16								<0.01	≥99.6			<0.16				
37	LF ₃			0.3~0.6								其余					3.2~3.8		
38	LF ₆			0.5~0.8								"	0.02~0.10				5.8~6.8 ^{0.0001} ~0.005		
39	LY ₁₂			0.3~0.9							3.8~4.9	"					1.2~1.8		

表 二

序号	厂名	流程	设备	挂片部位	温度 (°C)	压力 (大气压)	挂片时间 (小时)	介 质
1	吴淞化工厂	半循环	尿素合成塔	上部液相	185	200	2637	过量氨 100%，加氧
2	南京化肥厂	高效半循环	尿素合成塔	塔底	188	200	3756.5	$\text{NH}_3 : \text{CO}_2 : \text{H}_2\text{O} = 4 \sim 4.3 : 1 : 0.6 \sim 0.7$ ，加氧 0.5%
3	南京化肥厂	全循环	尿素合成塔	距塔顶 60cm	188	200	7056	尿液 30%，甲铵 30%， NH_3 20%， H_2O 20%
4	南京化肥厂	全循环	尿素合成塔	距塔顶 110cm 液相	188	200	4935	尿液 30%，甲铵 30%， NH_3 20%， H_2O 20%
5	泸州天然气化工厂	全循环	第二反应器	距塔顶约一米处	出口 190~195	200	第一次 2985	出口：尿素 32~34%， CO_2 10~11%， NH_3 35~36%， H_2O 19~21%
							第二次 433	出口：尿素 32~34%， CO_2 10~11%， NH_3 35~36%， H_2O 19~21% 三分之一时间停车降压，压力下降
				距塔底 394cm 处	入口 170~180	200	第一次 2985	入口： CO_2 35%， NH_3 54~55%， H_2O 10%
							第二次 433	入口： CO_2 35%， NH_3 54~55%， H_2O 10%，三分之一时间停车降压，压力下降
6	南京化肥厂	全循环	一段分离器	气液相交界面手孔处	155	17	3900	气相： CO_2 42%， NH_3 45%， H_2O 13%；液相：甲铵及尿素
7	南京化肥厂	全循环	一段分离器	中部	155	17	5914	气相： CO_2 42%， NH_3 45%， H_2O 13%；液相：甲铵及尿素
8	上海化工研究院	联 尿	汽提塔	气相，气液相，液相	155~160	45	949	进口： NH_3 39%， CO_2 12%，尿素 27.5%， H_2O 21.5%； 出口： NH_3 3~5%， CO_2 3%，尿素 57%， H_2O 36%

續表二

序 号	厂 名	流 程	设 备	挂 片 部 位	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	压 力 (大气压)	挂 片 时 间 (小时)	介 质
9	泸州天然气化工厂	全循环	一段蒸发器	出口	130	250~300 mmHg	4237	尿液 75~77%, NH_3 0.2~0.5%, H_2O 23~25%
10	泸州天然气化工厂	全循环	二段蒸发分离器	进口	137~144	25~40 mmHg	4237	尿液 95~96%, H_2O 6~7%
11	泸州天然气化工厂	全循环	二段蒸发分离器	出口	137~144	25~40 mmHg	4237	尿液 99.6~99.7%, H_2O 0.4%
12	泸州天然气化工厂	全循环	二段循环第一冷凝器液位槽	液相	30~40	2.5	6466	NH_3 42~43%, CO_2 18~20%, H_2O 37~40%
13	泸州天然气化工厂	全循环	解吸塔	第二块塔板	115~120	3.5	3750	气相: NH_3 41%, CO_2 23%, H_2O 36%; 液相: NH_3 4~6%, CO_2 2%, H_2O 92~94%
14	泸州天然气化工厂	全循环	洗涤塔	底部加热管束液相	90~100	17	2880	稀甲铵液含 NH_3 41~42%, CO_2 32~35%, H_2O 23~27%
15	泸州天然气化工厂	全循环	二段加热器	出口	150	3	2824	尿素 66~67%, CO_2 2%, NH_3 3~4%, H_2O 27~28%
16	泸州天然气化工厂	全循环	二段循环第一冷凝器液位槽	入孔处液相	30~40	2.5	5704	稀甲铵液 CO_2 18~20%, NH_3 42~43%, H_2O 37~40%
17	南京化肥厂	全循环	二段分解塔	底部液相	105	1	720	尿液 68%, 缩二脲 0.3%, 游离氨 3克/升
18	南京化肥厂	全循环	薄膜蒸发器	顶部气相出口	100	530mmHg	720	含 NH_3 , CO_2 , 蒸汽
19	上海化工研究院	联 尿	二氧化碳吸收塔	液相	120	45	1407	$\text{NH}_3/\text{CO}_2 = 2.45 \sim 2.6$, $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2 = 0.95 \sim 1.05$

表 三

挂片地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	腐蚀速度 (毫米/年)	备 注
吴淞化工厂	合成塔	1	SUS33 SUS33+832SKER* SUS33+Nc36L SUS33+P ₅ ①	0.020 0.035 0.022 0.022	
南京化肥厂	合成塔	2	SUS33 SUS33+832SKER SUS33+Nc36L SUS33+P ₅ ①	0.060 0.100 0.083 0.068	
			832SFR①+Nc36L 832SFR①+832SKER 832SFR①+P ₅ ① SUS33+P ₅ ①	0.14 0.17 0.12 0.17	
	合成塔	3	P ₅ ①堆焊 TAB18—12MoC堆焊 204Mo 204Mo+832SKT Cr25Mn5N Cr25Mn5N+832SKT	0.12 0.075 0.16 0.27 0.177 0.41	
			H ₂ ① H ₂ ①+H ₂ ① H ₂ ①+0Cr18Ni12Mo2 C ₄ ② C ₄ ②+C ₄ ①	0.40 0.42 0.56 0.32	
	合成塔	3	C ₄ ①+0 Cr18Ni12Mo2 BT—1+BT—1 P ₅ ①堆焊 600℃ 4.5小时	0.32 0.046 0.38	
			832SFR② 832SFR+P ₅ ② 832SFR③ 832SFR③+10510 317 L 317 L+P ₅ ② P ₅ ②堆焊	0.130 0.112 0.086 0.105 0.222 0.296 0.112	

* SUS33+832SKER为焊接接头试样, 其中SUS33为母材, 832SKER为焊条牌号。以下表示方法都类似。

續 表 三

挂片地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	腐蚀速度 (毫米/年)	备 注
泸州天然气化工厂	第二反应器塔顶	5(第一次)	A ₄ ②	0.208	
			A ₄ ③	0.142	
			A ₄ ②	0.180	
			A ₄ ② + A ₄	0.238	
			A ₄ 堆焊水淬	0.242	
			15—7 PH	0.210	
			SUS33	0.065	
			SUS33 + M4	0.066	
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	0.054	
			204Mo	0.064	
			204Mo + 204Mo②	0.115	
			A ₄ ①	0.115	
泸州天然气化工厂	第二反应器塔顶	5(第一次)	A ₄ ① + A ₄	0.130	
			H ₂ ①	0.145	
			C ₄ ②	0.139	
			BT—1	0.012	
			BT—5 + BT—5	0.013	
	第二反应器塔顶	5(第二次)	SUS33	0.280	
			SUS33 + M4	0.218	图 1—1
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	0.217	图 1—1
			204Mo	0.115	
			204Mo + 204Mo②	0.122	图 1—1
			A ₄ ①	0.120	
			A ₄ ① + A ₄	0.127	图 1—1
			H ₂ ①	0.130	
			C ₄ ②	0.118	
			BT—1	增重	
			BT—5 + BT—5	增重	
	第二反应器塔底	5(第一次)	SUS33	0.024	
			SUS33 + M4	0.148	
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	0.107	
			204Mo	0.078	
			204Mo + 204Mo②	0.160	
			A ₄ ①	0.060	

續 表 三

挂卡地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	腐蚀速度 (毫米/年)	备 注
泸州天然气化工厂	第二反应器塔底	5(第二次)	A ₄ ① + A ₄	0.069	图 1~2
			SUS33	1.55	
			SUS33 + M4	1.70	
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	1.04	
			204Mo	0.515	
南京化肥厂	一段分离器	6	204Mo + 204Mo②	0.565	"
			A ₄ ①	0.111	
			A ₄ ① + A ₄	0.140	
			204Mo	0.045	
			204Mo + 832SKT	0.063	
			Cr25Mn5N	增重	
			Cr25Mn5N + 832SKT	0.010	
			H ₂ ① + H ₂ ①	0.025	
			H ₂ ① + 0Cr18Ni12Mo2	0.062	
			X17H13M2T	0.153	
			X17H13M2T + 832SKT	0.146	
			832SKT	0.142	
			832SKT + 832SKT	0.235	
			BT—1	增重	
南京化肥厂	一段分离器	7	A ₄ ② + A ₄	0.017	
			204Mo + 204Mo①	0.026	
			C ₄ ① + C ₄ ②	0.022	
			H ₂ ② + H ₂ ②	0.037	
上海化工研究院	汽提塔	8 (气相)	A ₄	0.006	
			A ₄ + A ₄	0.005	
		8 (气相)	204Mo	0.005	
			832SKT	0.003	
			832SKT + 832SKT	0.005	
	汽提塔	8(气液相)	BT—1	0.001	
			A ₄	0.071	
			A ₄ + A ₄	0.086	
			204Mo	0.13	
			204Mo + 204Mo	0.18	
			832SKT	0.14	

續表三

挂片地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	腐蚀速度 (毫米/年)	备 注
泸州天然气化工厂一段蒸发器	汽提塔	8 (液相)	832SKT + 832SKT	0.095	
			BT—1	0.006	
			A ₄	0.005	
			A ₄ + A ₄	0.007	
			204Mo	0.23	
			204Mo + 204Mo	0.31	
			832SKT	0.095	
			832SKT + 832SKT	0.057	
			BT—1	增重	
			L ₂	<0.001	
	二段蒸发分离器	10	LF ₂	<0.001	
			0Cr17Ti	0.001	
			1Cr18Ni9Ti 870℃退火	<0.001	
			L ₂	0.001	
			0Cr17Ti	0.016	
			1Cr18Ni9 870℃退火	<0.001	
			X2CrNi18—9	0.063	
		11	L ₂	0.003	
			0Cr17Ti	<0.001	
			1Cr18Ni9	<0.001	
	二段循环第一冷凝器液位槽	12	L ₂	0.045	
			LF ₂	0.024	
			0Cr17Ti	<0.001	
			0Cr17Ti + 832MVT	<0.001	
			1Cr18Ni9	<0.001	
	解吸塔	13	0Cr13 + 832MVT	0.005	
			0Cr17Ti	增重	
			0Cr17Ti + 832MVT	0.248	
			1Cr18Ni9	0.018	
			X2CrNi18—9	0.052	
	洗涤塔	14	0Cr18Ni9	0.002	
			0Cr18Ni9 + 上焊58T	0.007	
			A ₄ ①	<0.001	
			A ₄ ① + A ₄	<0.001	

續表三

挂片地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	腐蚀速度 (毫米/年)	备 注
泸州天然气化工厂	洗涤塔	14	H ₂ ①	<0.001	
			H ₂ ① + H ₂ ①	<0.001	
			H ₂ ① + 0Cr18Ni12Mo2	0.003	
			C ₄ ②	<0.001	
			C ₄ ② + C ₄ ①	<0.001	
			C ₄ ② + 0Cr18Ni12Mo2	<0.001	
	二段加热器	15	BT-1	0.107	
			0Cr18Ni9	0.005	
			0Cr18Ni9 + 上焊58T	0.006	
			A ₄ + A ₄	0.005	
			L ₂	0.43	
			LF ₃ + LF ₃	0.080	
			LF ₆ + LF ₆	0.093	
			Ly ₁₂ + AK	0.160	
			Ly ₁₂ + LF ₆	0.198	
			Ly ₁₂ + Ly ₁₂	0.180	
	二段循环第一冷凝器 冷凝液贮槽	16	0Cr18Ni9	<0.001	
			0Cr18Ni9 + 上焊58T	<0.001	
			L ₂	<0.001	
			LF ₃ + LF ₃	0.001	
			LF ₆ + LF ₆	<0.001	
			Ly ₁₂ + AK	<0.001	
			Ly ₁₂ + LF ₆	<0.001	
			Ly ₁₂ + Ly ₁₂	<0.001	
	二段分解塔	17	L ₂	0.148	
			L ₂ + L ₂	0.156	
			Ly ₁₂ + AMΓ ₆	0.094	
			Ly ₁₂ + Ly ₁₂	0.106	
			L ₂ + A ₀	0.126	
			AMΓ ₆ + AMΓ ₆	0.197	
南京化肥厂	薄膜蒸发器	18	L ₂	0.013	
			L ₂ + L ₂	0.026	
			Ly ₁₂ + AK	0.017	
			Ly ₁₂ + AMΓ ₆	0.024	
			LF ₆ + LF ₆	0.217	
			X17H13M2T	0.014	
	二氧化碳吸收塔	19	X17H13M2T + 832SKT	0.049	
			832SKT	0.023	
			Cr25Mn5N + C25Mn5N	0.038	
			A ₄	0.024	
			1Cr18Ni9Ti	2.840	
			Cr20Mn13N13	0.040	
			A ₂ 铝	1.80	
			AK ₈	2.50	
			碳钢	蚀完	
上海化工研究院	二氧化碳吸收塔	19			

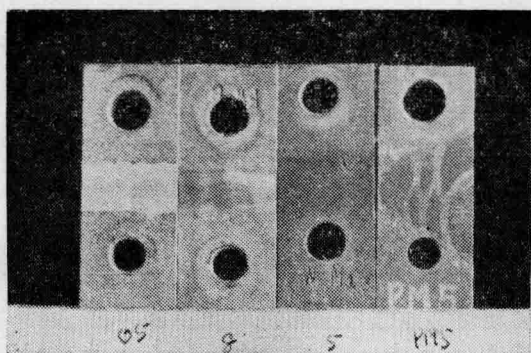


图 1—1 塔顶挂片 (自左向右):

1. SUS33+M4;
2. 00Cr18Ni12Mo2+M4
3. A_4+A_4
4. 204Mo+204Mo

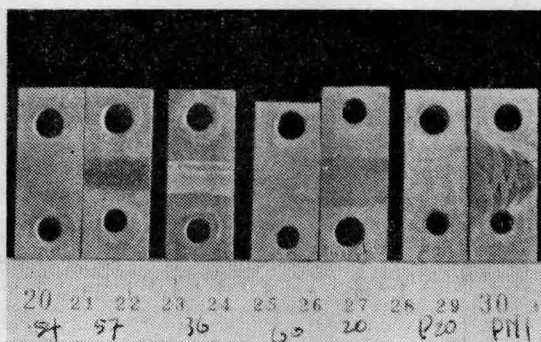


图 1—2 塔底挂片 (自左向右)

1. SUS33; 2. SUS33+M4
3. 00Cr18Ni12Mo2+M4
4. A_4 ; 5. A_4+A_4 ; 6. 204Mo
7. 204Mo+204Mo

图 1 泸州天然气化工厂第二反应器挂片宏观照片

对高温高压熔融尿素介质中材料的均匀腐蚀性能分析如下:

1. 铬镍耐酸钢中超低碳钢的耐蚀性比含稳定化元素的非超低碳钢为好。

2. 铬锰氮耐酸钢中 A_4 、204Mo、Cr25Mn5N 均较耐蚀, C_4 、 H_2 稍差。从节约镍、铬而言, 首推 A_4 。

3. 在正常操作条件下, A_4 与超低碳铬镍耐酸钢耐蚀性接近。

4. 在停车保压导至合成塔内(尤其是塔底)严重缺氧, 以及在一段分离器缺氧条件下, 铬锰氮耐酸钢(如 A_4) 的耐蚀性要比铬镍耐酸钢好得多。这说明 A_4 等铬锰氮耐酸钢对于缺氧操作具有很好的适应性, 这是 A_4 等铬锰氮耐酸钢比铬镍耐酸钢耐蚀性所具有的显著优点。据此可以进一步试验 A_4 等铬锰氮耐酸钢在尿素生产中不通氧保护条件下的耐蚀性能。

5. 铬镍钢焊条以 P_5 为好, 铬锰氮钢焊条以 A_4 为最好。

6. 钛和钛合金无论在富氧及缺氧的条件下均具有比不锈钢优异得多的耐蚀性, 是用材的方向。据资料[15]介绍, 钛衬里应避免表面与焊缝被污染, 否则会引起破裂和严重腐蚀。

对非高温高压尿素熔融介质中材料的抗均匀腐蚀性能分析如下:

1. 0Cr17Ti、纯铝、铝合金在温度压力不高的氨基甲酸铵溶液中耐蚀。

2. 0Cr13、纯铝、铝合金在氨水溶液与含氨蒸汽中耐蚀。

3. 0Cr17Ti、纯铝、铝合金在尿素溶液中耐蚀。

4. 非高温高压熔融尿素介质可不必用超低碳铬镍耐酸钢、用 A_4 或一般的铬镍耐酸钢耐蚀效果是一样的。

三、晶 间 腐 蚀

耐酸钢在高温高压熔融尿素介质中的晶间腐蚀行为、相应的晶间腐蚀倾向检验方法、以及 σ 相对晶间腐蚀的影响等问题在生产中一直未能解决, 现将对上述问题有关试验分述于后。试样化学成分可根据试验条件由表三在表一中查得(下同)。

(一) 各种耐酸钢在高温高压熔融介质中的晶间腐蚀行为

挂片试验结果列于表四。

表 四

挂片地点	挂片设备	挂片条件 (表二)	试 样	晶 间 腐 蚀				备 注	
				母 界	材	焊	蚀		
									$\alpha-\gamma$ 相 界
南京化肥厂	合成塔	3	832SFR + Nc36L	漏斗形晶蚀		无	有	无	有时先焊面有刀蚀 有时先焊面有刀蚀
			832SFR + 832SKER	漏斗形晶蚀		无	重	无	
			832SFR + P ₅	漏斗形晶蚀		无	轻	无	
			SUS33 + P ₅	漏斗形晶蚀		无	轻	无	
			P ₅ 堆焊			无	有	无	
泸州天然气化工厂	第二反应器顶部	5	P ₅ 堆焊600℃4.5小时						母材图 2-1 图 2-7.8. 图 2-2 图 2-3 母材图 2-4 图 2-5.6.
			H ₂ + 0Cr18Ni12Mo2		有	无		无	
			C ₄ + C ₄		有	无	有	无	
			204Mo + 832SKT		无	重	重	无	
			Cr25Mn5N + 832SKT		无		无	无	
			TAB18-12Mo (堆焊)						
			SUS33 + M4	轻			有	有	
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	漏斗形晶蚀		无	有	无	
			A ₄ + A ₄	无	有	有	有	有	
			204Mo + 204Mo	无	有	有	有	有	
泸州天然气化工厂	第二反应器底部	5	H ₂	无		无		无	母材图 2-4 图 2-5.6.
			C ₄	无	有	有	有	有	
			832SFR + Nc36L	漏斗形晶蚀		无	有	无	
			832SFR + P ₅	漏斗形晶蚀		无	轻	无	
			832SFR + 832SKER	漏斗形晶蚀		无	重	无	
南京化肥厂	一段分离器	6	SUS33 + M4	无		无	有	有	
			00Cr18Ni12Mo2 + M4	无		无	有	有	
			A ₄ + A ₄	无	无	无	有	有	
			204Mo + 204Mo	无	轻	无	有	有	
			204Mo + 832SKT	无	无	无	有	有	

由表四可见：

1. 高温高压熔融尿素介质是一种易使耐酸钢产生晶间腐蚀倾向的介质。
2. 母材中 A₄ 抗晶蚀性能最好，超低碳铬镍耐酸钢常会产生漏斗形晶蚀(见下面 5)，有时也会产生轻微晶蚀。其它铬锰氮耐酸钢会产生 $\alpha-\gamma$ 复相相界的晶间腐蚀。
3. 焊缝中 A₄ 抗晶蚀性能最佳。铬镍耐酸钢 易产生复相晶间腐蚀，M₄、TAB18—12M₀C 还产生了 γ 相晶间腐蚀，铬镍钢中以 P₅ 耐晶蚀性能较好，只产生了很轻微的复相晶间腐蚀。除 A₄ 之外的铬锰氮钢焊缝均易产生复相晶间腐蚀。
4. 各种材料的焊接接头，其最后一道焊缝的熔合线均未发现明显的刀状腐蚀，但有的铬镍钢试样在先焊面上却发现刀蚀。这说明熔融尿素介质本身具有产生一定的刀状腐蚀能力。然而尿素塔衬里层与介质接触的焊缝是最后施焊的，因此一般不会产生熔合线刀状腐蚀。

5. 固溶状态(供货状态)的超低碳铬镍耐酸钢在熔融尿素介质中产生了漏斗形晶间腐蚀[1]。漏斗形晶间腐蚀与晶界碳化物的析出与否无关，故固溶处理也有此类晶间腐蚀产生。资料介绍，漏斗形晶间腐蚀应产生于 1200mv 以上过钝化电位处，晶粒过钝化，晶界由于有畸变，晶格扭曲，能量较高，不能发生二次钝化，晶界腐蚀速度比晶粒稍高，因



图 2—1 SUS33塔顶挂片
250 × 轻微晶蚀

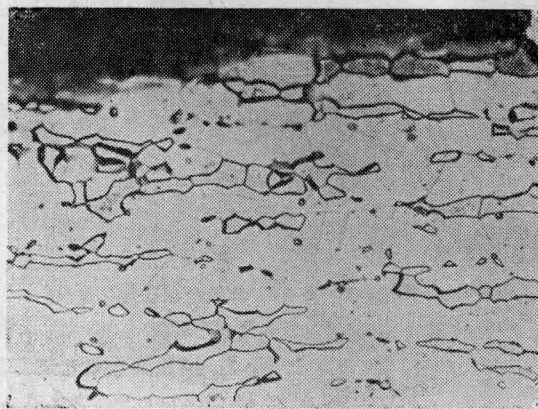


图 2—2 H₂塔顶挂片
200 × 复相相界晶蚀



图 2—3 C₄塔顶挂片
200 × 复相相界晶蚀



图 2—4 SUS33塔底挂片
250 × 无晶蚀

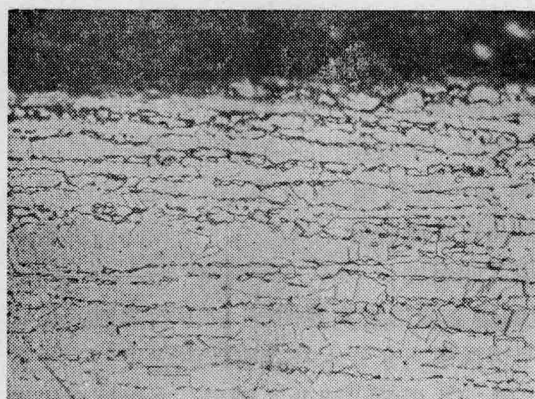


图 2—5 A₄ 塔底挂片
200× 无晶蚀、无选蚀

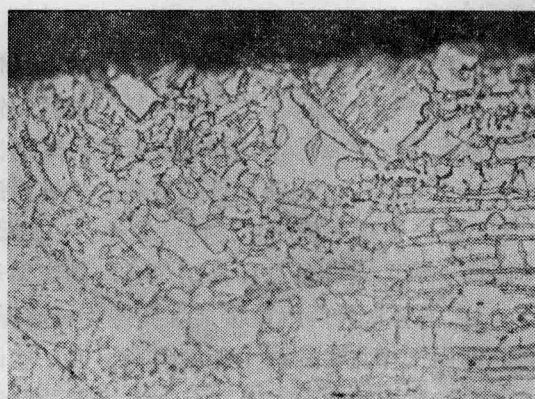


图 2—6 A₄ + A₄ 熔合线塔底挂片
200× 无晶蚀、无刀蚀、无选蚀



图 2—7 A₄ + A₄ 焊缝塔顶挂片
1000× 无晶蚀、无选蚀

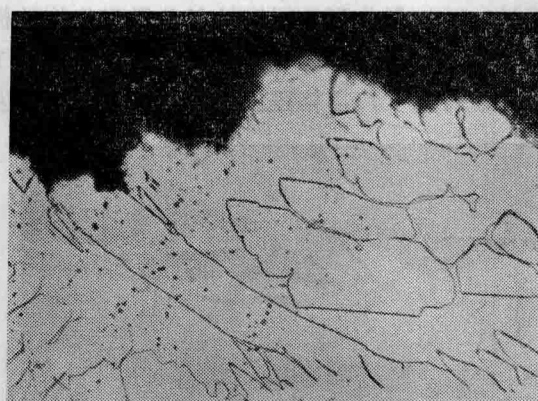


图 2—8 A₄ + A₄ 熔合线塔顶挂片
1000× 无晶蚀、无刀蚀、无选蚀

图 2 泸州天然气化工厂第二次反应器挂片金相照片
25% Al₂(SO₄)₃ 电解浸蚀 (图 2—7、2—8 为 10% 铬酸电解浸蚀)

而产生了漏斗形晶间腐蚀。看来铬镍耐酸钢在熔融尿素介质中的电位可能在1200mv以上，这与在硝酸法晶间腐蚀试验溶液中的电位1300mv是接近的。故都能产生漏斗形晶蚀。

6. 同样的试样在泸州天然气化工厂第二反应器顶部挂片的晶间腐蚀比底部稍重，可能与停车保压时底部比顶部缺氧有关。看来，在熔融尿素介质中降低氧含量会使介质的晶间腐蚀能力下降。

(二) 超低碳铬镍耐酸钢在熔融尿素中晶间腐蚀倾向检验方法的选择

目前国内外尿素合成塔等与熔融尿素介质接触的设备大多采用 00Cr18Ni12Mo2 超低碳铬镍耐酸钢制造。从荷兰 Stami—Carbon 公司进口的尿素合成塔技术条件规定 X2CrNiMo18—12 钢及其焊缝，必须用美国的沸腾硝酸法 (ASTM A262—55T Huey 法) 进行晶间腐蚀倾向检验，五个周期的平均腐蚀率不得超过0.002时/月 (0.61毫米/年)^[8]。国内有的单位认为采用 ASTM A262—55T 中的硫酸—硫酸铁法检验 Cr18Ni12Mo3Ti 不锈钢在熔融尿素介质中的晶间腐蚀倾向比硝酸法更接近挂片试验数据^[9]，但硫酸—硫酸铁法本身并无判废标准。国内通用设计暂定用 YB44—64 中的 E 法检验，但并无更多的依据，因而未