

阀门焊接技术

主讲人：

高 清 宝

沈阳高中压阀门厂副总工艺师

教授级高级工程师

享受国务院特殊津贴

讲 座 提 纲

- 1、前言：阀门泄漏与阀门结构的关系；
- 2、对阀门密封面的技术要求；
- 3、国内外阀门密封面堆焊材料工艺概况；
- 4、阀门密封面擦伤机理与堆焊材料试验方法；
- 5、85#堆焊合金简介；
- 6、137#堆焊合金简介；
- 7、高温耐腐蚀阀门堆焊焊条简介；
- 8、代替钴基合金电站阀门堆焊材料（沈阀 6T）简介；
- 9、钴基合金排丝等离子堆焊简介；
- 10、焊接工艺文件、焊接工艺评定和 API 认证验收应注意的几个问题；
- 11、三种高端镍基合金的阀门堆焊应用；
- 12、应该推广三项高效经济实惠的焊接工艺方法。

摘 要

今天我以一名老技术工作者的身份与大家共同探讨阀门行业密封面所使用材料的技术革新和技术进步历程。由于我的经历，我谨以沈阳高中压阀门厂这四十年间在阀门密封面材料所经历的六次技术革命的风暴，介绍阀门密封面所使用材料和工艺的技术进步，希望对堆焊材料和工艺的选择能有所帮助。

第一次技术革新：

60年代初，沈阀厂生产碳钢阀，密封面采用青铜圆环镶嵌法制造，而不是堆焊，厂领导要求我们用堆焊法取代落后的镶嵌法制造密封面，经过一段时间努力，我们研制第一代 18-8 不锈钢焊条手工堆焊和自动堆焊。所生产的大批阀门运往大庆油田使用，由于密封面不耐用，很快这批报废的阀门在用户单位堆积如山，给当时大庆油田会战造成了一定影响。

第二次技术革新：

62年大庆油田领导请沈阀门厂的领导到大庆油田调查阀门质量问题，并希望阀门生产厂尽快解决阀门质量问题。当时大庆油田阀门报废主要原因是密封面擦伤造成的阀门内漏问题，厂有关领导回厂后为配合当时的大庆油田会战，提高阀门使用寿命做出动员报告，要求技术人员对阀门堆焊进行技术攻关，提高密封面的硬度，达到提高阀门使用寿命，当时厂内上上下下较为普遍地认为密封面应该有高硬度，应该研制和推广 2Cr13 取代 18-8 密封面材料，经过努力于 64 年又研制和推广阀门第二代 2Cr14Mn2Si 过渡合金的焊条和自动堆焊材料，这种材料是 2Cr13 的变种，硬度 $150\text{HRC} \geq 35$ ，用这种材料堆焊了大批阀门送往大庆使用，经过试运行后仍没有达到用户所期望的效果。

第三次技术革新：

基于全国当时行业内阀门密封面的实际情况，制约了能源工业的快速发展。72 年第一机械工业部投巨资在沈阀厂创建阀门研究所，并同时下达阀门密封面

基础件攻关任务。沈阀所及沈阀厂成立专门技术攻关小组，对提高密封面寿命机理、堆焊材料合金和工艺方法进行了系统全面研究，发现密封面的成分和金相组织是提高密封面的使用寿命的主要因素，而认为而密封面硬度是第二位的，因为密封面的硬度只解决密封面垫伤和划分，而密封面的成分和金相组织决定着密封面抗擦伤性能的好与坏。经过 84 次配方调整的失败，合金成分调整到 85 次时，得到了高寿命的密封面 Cr-Mn-N（含氮合金），经过寿命试验证明它比 2Cr13 合金密封面寿命提高几十倍，发现合金过渡进入氮（N）对提高寿命起重要作用，厂内把这种材料叫 85 号合金。做成焊条（SF-3T）、自动堆焊焊剂（SF-3J）在厂内全面推广应用。该项成果获得 77-78 年部、省、市科技大会的重大科技成果奖 85 号合金投入使用后我们发现 85 号合金手工堆焊成分（SF-3T）波动较小，自动堆焊成分（SF-3J）波动较大，第二个发现 85 号合金（SF-3T、SF-3J）是表面硬化材料，即用 10HRC 硬度计检查手工、自动堆焊合金硬度都合格，而用 150HRC 硬度计检查硬度，手工堆焊合金合格，成分波动大的自动堆焊合金硬度就不能完全合格。10 公斤硬度计是检查焊层上表 0.2mm 的硬度，150 公斤硬度计是检查焊层下面 0.5mm 深度的硬度，对于这种表面硬化材料。为了统一技术标准厂内总师决定，85 号自动堆焊合金在 Cr=12-18、Mn=7-10 波动时用 10HRC 硬度计检查硬度，手工堆焊合金在 Cr=12-14、Mn=7-8.5 范围内用 150HRC 硬度计检查硬度。总师同时决定要求继续攻关，实现更高的技术目标。

第四次技术革新：

经过 136 次失败，在试验调整合金成分 137 次时找到了合金系统为 Cr-Mn-B 合金。将这种合金做成焊条、自动堆焊用焊剂，经过反复试验证明在 Cr=12-18、Mn=7-10 时硬度较高，用 150 公斤硬度计检查硬度非常稳定，150HRC=32-40，这在技术是一个奇迹般的突破。

我们发现加入硼后既可以在成分有较大波动时保持硬度的稳定，同时又可以提高 150HRC 的硬度，这是 1982-1986 年间的技术攻关。厂内总师决定将 85 号（SF-3T、SF-3J）合金材料用于碳钢阀门介质为油、汽、水中温中压阀门堆

焊，许用比压为 45Mpa；137 号（SF-4T、SF-4J）合金材料用于中温度高压碳钢阀门堆焊，许用比压 60Mpa，因为 $PN \geq 6.4\text{Mpa}$ 阀门较少，因此 85 号（SF-3T、SF-3J）合金堆焊一直大量使用几十年，137 号（SF-4T、SF-4J）合金荣获国家发明型专利。

至此 25 年研制四代堆焊合金，第一代 18-8 不锈钢、第二代 2Cr13、这两种材料都被淘汰；第三代、第四代材料同时使用，至此碳钢阀门堆焊材料研制工作结束。

第五次技术革新：

80 年代工厂大量生产合金钢阀门，大量使用 500-600 元/公斤昂贵的钴基合金材料，厂内成本压力较大，对此厂内总师要求研制代钴材料，达到降低成本。在 87-92 年经过 50 余次的失败，终于研制成功 SF-5T 高温耐腐蚀阀门堆焊焊条，92-99 年进行全面推广，同样获得发明型专利。

第六次技术革新：

90 年机电工业部下达研制取代钴基合金的电站阀门堆焊材料，经过 30 余次的试验，终于在 1995 年研制成功价格低廉、高温性能好、代替钴基合金 SF-6T 电站阀门堆焊材料。95-99 年间用 SF-6T 焊条堆焊三十余台火力电厂用 3500 磅级电站截止阀。SF-6T 成果获得国家三等科技进步奖。

摘要结束语

本摘要扼要地介绍沈阀厂沈阀所几十人几代人不懈努力，为提高阀门密封面的使用寿命所进行开创性工作，研制出系列的不同材料使用的密封面材料和工艺方法，前后经历三百余次的探索，这其中有成功时带来的喜悦，更多的是在探索过程中失败带来的苦脑。

1 前言：阀门泄漏与阀门结构的关系

大家知道影响阀门使用寿命有三大因素

1. 1 阀门内漏：主要是密封面质量问题

1. 2 阀门外漏：主要是铸件质量问题，也有填料问题

1. 3 阀门结构：主要是设计和加工问题

在此我们只探讨钢制高中压阀门的内漏问题。

2 对阀门密封面的要求

阀门密封面在规定的压力，温度、介质、安装位置保证密封安全可靠；而在制造过程中，密封面材料和结构的焊接、加工、装配和研磨的工艺性要好；在使用过程中密封面要便于维修，具体地要求如下：

- 2. 1 抗腐蚀
- 2. 2 抗擦伤
- 2. 3 抗冲蚀和气蚀
- 2. 4 应有一定的强度，能够承受其所形成的密封比压值
- 2. 5 应有一定的硬度
- 2. 6 应有一定的抗高温性能
- 2. 7 密封面和堆焊母材的线膨胀系数接近
- 2. 8 良好的加工性能

为了提高阀门产品的使用寿命，许多国家都在密封面材料的研究方面狠下功夫，我国也不例外，60-80 年代沈阳阀门研究所、哈尔滨焊接研究所、合肥通用机械研究所、武汉材保所、上海阀门厂等单位先后研制了铁基、镍基、等许多密封面新材料，并对堆焊设备、工艺方面进行了大量研究，取得了显著的成果。

3. 国内外阀门密封面堆焊材料、工艺研究概况

3. 1 国外阀门密封面堆焊材料，堆焊工艺研究概况

3. 1. 1 国外阀门密封面堆焊材料

国外阀门密封面堆焊用焊条 表 1

焊条	手工堆焊金属化学成份 (%)	焊层硬	国别
----	----------------	-----	----

牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Fe	C o	N b	度 (HR C)	
ECoCr	0.7-1.4	≤ 2.0	≤ 2.0	26- 32	≤ 3.0	≤ 1.0	3.0-6. 0	≤ 5.0	余	-	38-42	美国
	1.6-2.2	1.5- 2.6	-	25- 32	-	-	4.0-5. 0	≤ 4.0	余	-	40-50	前苏联
STL-3	0.7-1.4	≤ 2.0	≤ 2.0	25- 32	-	-	3.0-6. 0	≤ 3.0	余	-	38-44	日本
GRID UR-45	1.1	-	-	29- 31	-	-	6.0-7. 0	-	余	-	45-48	德国
YOHU -13H	0.15-0. 25	≤ 0.7	≤ 0.8	12- 14	≤ 0.6	-	-	余	-	-	33-48	前苏联
CR-55	0.33	0.36	0.36	12. 87	-	-	-	余	-	-	45-51	日本
GRIoU R—24	0.2	1.5	1.5	13. 0	-	1.1	-	余	-	-	40-52	德国

国外阀门密封面堆焊用合金粉末

表 2

合金粉 末牌号	手工堆焊金属化学成份 (%)										焊层 硬度 (H RC)	国别
	C	Si	M n	Cr	Ni	M o	W	Fe	Co	B		
司太利 N06	1.0	1.0	< 1	28	≤3	-	4.0	≤ 3.0	余	-	-	德国
钴基 No158	0.75	1.25	1.0	25.5	-	-	4.0	0.75	余	0.7	43	美国

福田合金 100	1.2	1.3-1.7	-	19-21	≤ 3	-	4.5-5.5	-	68-72	2.3-2.7	50-55	日本
	1.15	0.72	0.86	31.40	-	-	4.3	-	余	-	42-48	前苏联
镍基合金 41	0.45	3.0	1.0	9.0	余	-	-	3.75	1.0	2.0	40	前苏联
	0.3-0.6	1.5-4.0	-	12-15	余	-	-	< 5	-	1.5-2.5	45-50	前苏联
铁基合金 90	2.75	1.0	1.0	27	-	-	-	余	-	-	52	美国

表 1、表 2 分别介绍了用于阀门堆焊的焊条和粉末等离子堆焊合金粉末的牌号，堆焊金属的化学成份以及堆焊层硬度。由此可见，目前国外采用的用于抗磨、抗热、抗腐蚀等堆焊合金都是以钴基、镍基、铁基为基础的，但各国的资源不同，都在努力寻求发展具有自己特点的合金材料。

3. 1. 2 国外阀门密封面的堆焊工艺和设备

保证阀门密封面堆焊质量和提高堆焊生产效率，主要取决于采用先进的堆焊工艺方法和高效率的自动化堆焊工艺设备，在这方面许多国家做了大量的研究工作，表 3 列出了国外几种堆焊工艺方法的特点对比，国外主要堆焊工艺方法有：手工电弧堆焊、自动堆焊、氧乙炔焰堆焊、粉末等离子弧堆焊、惰性气体保护堆焊及激光溶敷等工艺方法，下面仅就具有特色的几种典型工艺方法及设备加以介绍：

几种堆焊工艺方法特点对比

表 3

堆焊工艺 方法	一般熔敷率 (kg/h)	最小稀释率 (%)	最小堆焊层 厚度 (mm)	所适用材料 的形状
氧乙炔堆焊	1.8	1	0.8	棒
钨极氩弧堆焊	2.3	10	2.4	棒或丝
等离子弧堆焊	3.2	5	0.25	粉末
埋弧自动堆焊 (单丝)	6.8	20	3.6	丝
熔化极气体保护堆焊 (单丝)	5.5	30	3.6	丝

3. 1. 2. 1 等离子弧堆焊

60年代初,美国焊接杂志报导了相同电流条件下的氩气保护电弧和等离子弧的热量分布比较(见图1)。

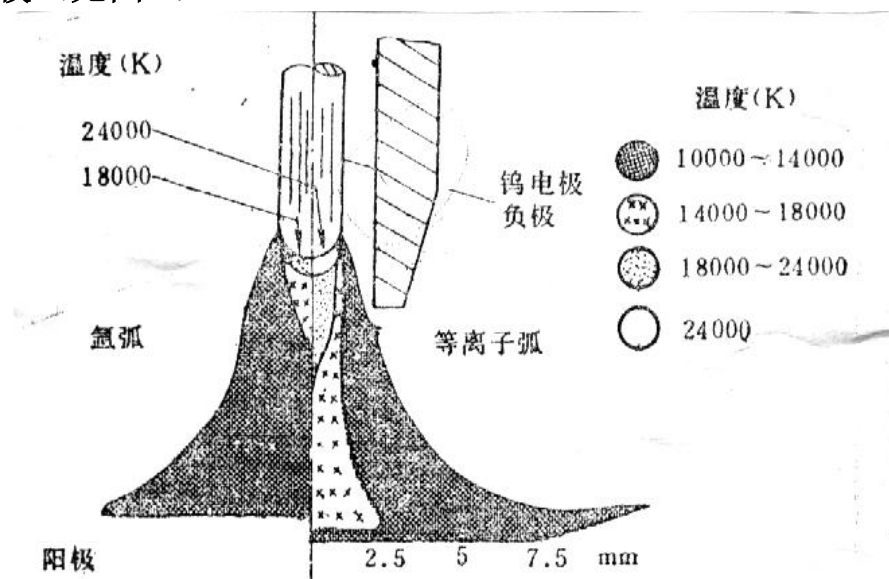


图4 氩弧与等离子弧热量分布比较

图中左半边是钨极氩弧的温度分布,右半边是等离子弧的温度分布,钨极氩弧的规范参数是:14.5V,电流为200A,等离子弧的规范参数为:电压29V,电流200A,压缩孔内径4.8mm,两个电弧都是以钨极为阴极,工件为阳极。从图1可以看出,钨极氩弧的14000-18000K温度区是窄而陡峭的,而等离子弧在这个温度区则沿弧柱的长度伸展,并在底部呈宽阔状。因此钨极氩弧与一般电弧的特点是获得深而窄的熔深,这在结构焊接中是希望达到的,但在堆焊时,则要求溶深浅,冲淡率最小,而等离子弧正是具有这一特性。此外,等离子压缩电弧较长高温弧柱区,允许将堆焊粉末送入弧柱区并受到均匀的加热,从而有效地利用了能源并获得高质量的堆焊层,所以等离子技术被广泛地应用在阀门密封面堆焊方面。

国外等离子弧堆焊设备的基本构成结构与国内一些阀门厂应用的设备大致相同。

3. 1. 2. 2 埋弧自动堆焊

埋弧自动堆焊是一种堆焊效率较高的工艺方法,它比手工电弧堆焊效率提高3-6倍,比等离子弧堆焊效率提高1-2倍,特别是对于大批量的阀门堆焊生产更显示其优越性,目前国内只三家阀门厂采用了自动堆焊工艺,国外阀门自动堆焊装置示意图如图2

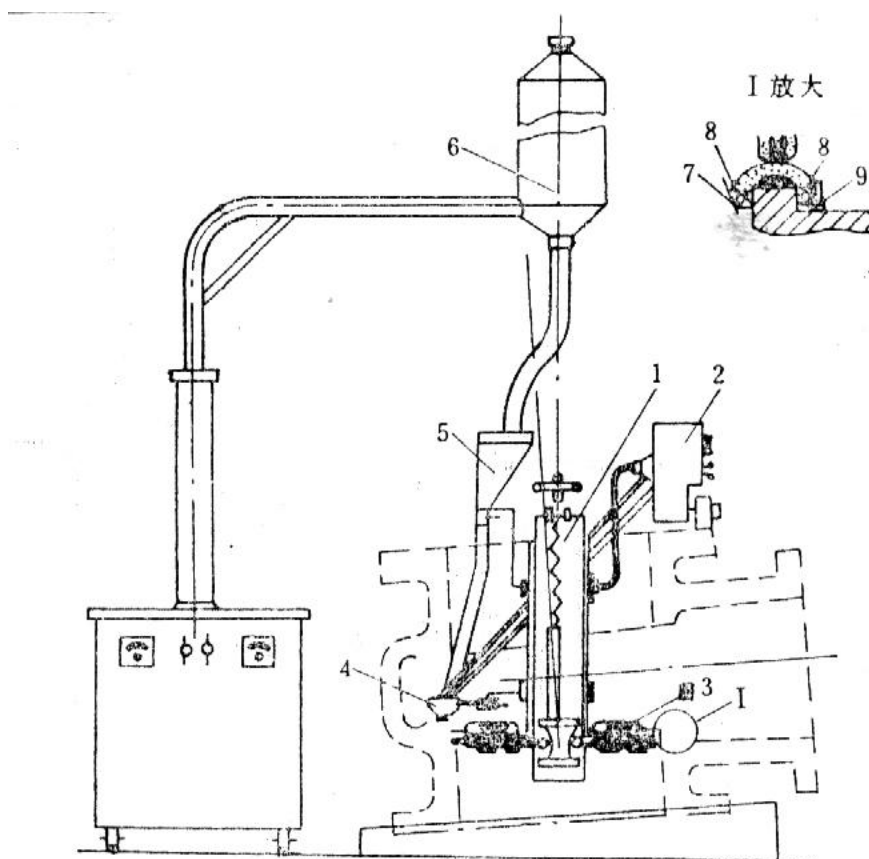


图 2 阀体埋弧自动堆焊设备

1—中心小车 2—A282小车 3—可伸缩支柱 4—熔剂料斗 5—中间料斗
6—熔剂料斗 7—钢挡板 8—石棉绳 9—40×40角钢 I—堆焊区

3. 1. 2. 3 其它堆焊工艺方法

其它堆焊工艺方法有药芯自动堆焊，惰型气体保护堆焊，氧乙炔焰气焊堆焊，手工电弧堆焊等工艺，这里不述。

3. 2 国内阀门密封面堆焊材料、堆焊工艺研究概况

60-80 年代国内各单位的成果见表 4、表 5、表 6

国内阀门密封面手工焊条堆焊成分 (%)

表 4

焊条牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Nb	W	Mo	V	B
D502(D507)	≤0.15	—	—	10-16	—	—	—	—	—	—	—
D512(D517)	≤0.25	—	—	10-16	—	—	—	—	—	—	—
D507Mo	≤0.2	—	—	10-16	≤6.0	—		≤2.0	≤2.5		
D577	≤1.1	≤0.2	12-18	12-18	≤6.0	—	—	—	≤4.0	—	—
SF-3T(85 [#])	≤0.2	0.7-1.5	7-8.5	12-14	—	N 氮 ≤ 0.15	—	≤0.02	≤0.03	—	—
SF-4T(137 [#])	≤0.30	1.4-2.5	7-10	12-17	—	—	—	—	—	—	≤1
SF-5T	≤0.38	≤2.0	7-10	14-18	—	—	—	1.5-3.5	2.5-4.0	1.5-3.0	0.7-1
SF-6T	0.8-1.1	≤0.5	7-9	13-17	—	—	—	—	1.4-2.0	—	≤0
D547Mo	≤0.18	3.8-6.5	0.6-2.0	14-21	6.5-12	—	0.5-1.2	3.5-7.0	3.5-7.0	—	—
D802	0.7-1.4	≤2.0	≤2.0	25-32	≤3	余	—	3-6	—	—	Fe≤

国内阀门密封面埋弧自动堆焊成分 (%)

表 5

焊剂牌 号	C	Si	Mn	Cr	N(氮)	B(硼)	S	P	硬度(HRC)	配用	焊丝
SF-3J (85 [#])	≤ 0.20	1.0-3.0	7.0-10.0	12-18	≤0.15	—	≤ 0.02	≤ 0.02	10HRC32-40	H08A	φ 4、φ
SF-4J	≤	1.0-3.0	7.0-10.1	12-18	—	0.6-1.2	≤	≤	32-40	H08A	φ

(137#)	0.35						0.02	0.02			4、 ϕ
--------	------	--	--	--	--	--	------	------	--	--	-----------

国内阀门密封面粉末等离子堆成分 (%)

表 6

合金粉末牌号	C	Si	Mn	Cr	Mo	B(硼)	Fe	W	Co	Ni	Cu	硬度(HRC)
Fe326	≤ 0.2	2.0-3.0	12-14	17-19	1.5-2.5	1.5-2.0	余	—	—	—	—	38-45
NDG-2#	0.3-1.5	4.5-8.0	—	20-35	—	≤ 1.0	2	5-15	—	余	≤ 3.0	≥ 42
Fe223	0.7-1.3	1.0-3.0	—	18-20	—	1.2-1.7	≤ 4.0	7.0-9.5	余	11-15	1.5-1.7	35-37

3. 3 各种堆焊热源的最高温度和热效率

3. 3. 1 各种堆焊热源的主要特性详见表 7

等离子火焰温度最高，有效利用温度 18000K，气焊火焰温度最低，最高温度才 3200℃。埋弧自动焊热源为 6400K 温度虽不太高，但因有渣壳保护，热源的热效率可达 99%，所以应该大量采用。

3. 3. 2 各种焊接方法的热效率选择

堆焊工艺不但要求工艺方法热源温度高，还应考虑堆焊工艺方法有效的热效率。比如埋弧自动堆焊虽然最高电弧温度只有 6400K，因为有渣壳保护，至使瞬时电弧热量不流失，使熔化钢水在瞬时可以上下对流，使焊层高低处成分变化很小，因此在堆焊一层以后，在加工后 1.0-3.0mm 高度范围内成分和硬度基本均匀一致，此外，由于较高热效率可以提高堆焊效率，不同焊接工艺方法的热效

率见表 8, 在条件允许的时候, 尽量选用热源温度高、热效率较高的堆焊工艺方法。

各种焊接热源的主要特性 表 7

热 源	最小加热面积 (cm2)	最大功率密度 (W/cm2)	正常焊接参数时的温度
乙炔火焰	10 ⁻²	2×10 ³	3200℃
金属极电弧	10 ⁻³	10 ⁴	6000K
钨极氩弧	10 ⁻³	1.5×10 ⁴	8000K
自动埋弧焊电弧	10 ⁻³	2×10 ⁴	6400K
电渣(熔池)	10 ⁻³	10 ⁴	2000℃
熔化极氩弧	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	
二氧化碳气体保护中的电弧	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	
等离子弧	10 ⁻⁵	1.5×10 ⁵	18000-24000K
电子束	10 ⁻⁷	10 ⁷ ~10 ⁹	
激光	10 ⁻⁸		

各种焊接方法的热效率 表 8

焊 接 方 法	碳 弧 焊	焊 条 电 弧 焊	埋 弧 焊	钨极氩弧焊		熔化极氩弧焊		电 渣 焊	电 子 束 焊	激 光 焊
				交 流	直 流	钢	铝			
热效率	0.5- 0.65	0.77- 0.89	0.77- 0.99	0.68- 0.85	0.78- 0.85	0.66- 0.69	0.7- 0.85	0.8	0.9	0.9

4 阀门密封面擦伤机理与堆焊材料试验方法

擦伤、冲蚀与腐蚀等均会破坏阀门密封面。密封副材料成分和金属组织、表面处理工艺、硬度与硬度差、比压和吻合度等诸多因素，都能影响阀门密封面的质量，研究密封面失效的主要形式，分析产生失效的原因，是研究提高质量与使用奉命的有效途径。

4. 1 选择密封面材料的试验方法

建立不同材料初选的的直动式擦伤试验机，确定擦伤试验对比材料为钴基合金（D802）和高硬度 2Cr13 试块做为新研究堆焊对比擦伤试验的靶子，在试块表面状态相同条件下，进行擦伤对比试验，经过多次大量对比擦伤试验粗选出堆焊材料再堆焊 DN100 闸阀密封面与堆焊钴基合金和堆焊接 2Cr13 相同口径的阀门，在密封面相同表面状态下，在大流量、带压差的阀门寿命试验装置上进行寿命对比堆焊材料精选，将精选出的材料再做其它性能试验，最后将选出的材料堆焊成阀门送往阀门用户进行工况运行对比考核。如果研究的高温耐腐蚀材料，在试验室内先做高温擦伤对比和用户相同条件的工况运行考核。

4. 2 我们得出的看法之一

通过大量试验我们认为阀门密封面的磨损的性质是以金属磨损为主兼有磨粒磨损。我们也看到阀门密封面的破坏有擦伤、划伤、垫伤三种失效形式，堆焊材料抗擦伤性能的好坏取决于堆焊金属的成分和金属组织，抗划伤和垫伤性能的高低取决于堆焊材料的硬度，因此堆焊材料的成分和金属组织是第一位的，堆焊材料的硬度是第二位的，那种认为密封面材料硬度越高抗擦伤性能就越好的看法是不准确的。

应当提出，堆焊金属密封面的硬度不能太低，因为阀门工况介质中都不是十分纯洁的，都含有一定量的泥砂和硬颗粒质点，硬度太低密封面抵抗犁入划伤和垫伤的能力下降，一般密封面的硬度 $HRC \geq 30$ 。较为合适的硬度 $HRC=32-40$ ，当 $HRC \geq 40$ 时硬度偏高，给加工和堆焊工艺都带来相当的困难。

4. 3 我们得出的看法之二

4. 3. 1 各类阀门密封面的特点及其失效型式

目前国内阀门大致分为 11 类：即闸阀（包括平板闸阀）、截止阀、节流阀、球阀、蝶阀、隔膜阀、旋塞阀、止回阀、安全阀、减压阀、疏水阀。

阀门密封面采用合金材料堆焊的主要有：闸阀、止回阀、球阀、蝶阀、截止阀、节流阀、安全阀、减压阀 8 大类。阀门密封面的特点和失效型式有擦伤、

划伤、垫伤，冲蚀和冲击的失效型式详见表 9。

各类阀门密封面特点及失效型式 表 9

阀门类别	堆焊部位	密封面形式	失效形式
闸 阀	阀座、闸板	平 面	主要擦伤、有冲蚀
止 回 阀	阀座、阀瓣	平 面	冲击与冲蚀
高温球阀	阀 座	锥 面	主要擦伤、有冲蚀
蝶 阀	阀 座	锥 面	冲蚀
截 止 阀	阀座、阀瓣	平面或锥面	主要冲蚀有擦伤
节 流 阀	阀座、阀瓣	锥 面	冲 蚀
安 全 阀	阀座、阀瓣	平 面	冲击与冲蚀
减 压 阀	阀座、阀瓣	平面或锥面	冲击与冲蚀

4. 3. 2 各种堆焊材料抗气蚀系数对比试验

各种堆焊材料抗气蚀系数对比试验冲蚀对比试验是在北京水力科学研究所水力机电研究所进行的，18-8 不锈钢抗气蚀性最差，它做为对比的靶子。

各种堆焊材料抗气蚀系数对比试验 表 10

试验材料	原重 (g)	试后重 (g)	失重 (mg)	失重率 (mg/h)	抗气蚀 系数	抗气蚀 顺序
18-8 不锈钢	29.88375	29.63521	248.54	10.8	1	6
SF-3T(Cr-Mn-N)	29.04079	28.99030	50.49	2.19	4.93	5
SF-4T(Cr-Mn-B)	28.82255	28.81770	5.55	0.24	45.0	3
SF-5T(高温耐腐)	28.84870	28.82930	19.40	0.84	12.9	4
SF-6T(电站阀门)	29.48770	29.48473	2.97	0.13	83.1	2
CoCrW 合金	31.56745	31.56700	0.45	0.02	540.0	1

从表 10 可以看出 18-8 不锈钢抗气蚀性最差，钴基合金最好，它的抗气蚀系数是不锈钢的 540 倍，如何根据阀门的压力，要求选择抗气蚀性能好的堆焊材料，比如 40J44Y-350 角式截止阀，选择 CoCrw 过头了，选择 18-8 材料完全错误的，选择 SF-4T 焊条堆焊阀办和阀座，它的抗气蚀性比选用 18-8 不锈钢提高 44 倍，

比选用 SF-3T 焊条提高 4 倍就完全可以了。至于安全阀密封面失效型式是冲击为主兼有气蚀，密封面应选用铬锰合金表面硬化材料 SF-4T（137 号合金）焊条堆焊。

4. 3. 3 特殊高温介质的阀门密封面腐蚀

4. 3. 3. 1 含环烷酸原油介质的高温阀门密封面的均匀腐蚀

我国东部地区油田除了大庆原油不含环烷酸、低硫外，辽河、山东胜利等油田，包括从中东进口的原油均含有较多的环烷酸，较高的硫，最近听说西北的一些油田的原油也有类似的情况，我国采用上述原油

的各炼油厂在装置上阀门密封面都存在 150℃-450℃ 的均匀腐蚀，密封面就是采用堆焊钴基合金也只能工作三个月左右，阀门就要报废，而堆焊 SF-5T 焊条就可以彻底解决问题，详见 1992 年《阀门》No2 和《第五届全国阀门与管道学术活动论文集》合肥通用所登载的《SF-5T 用于抗环烷酸腐蚀阀门堆焊的研究》等文章。沈阀厂为辽宁省葫芦岛（锦西）石化总厂供应了大量这类阀门。2002 年 No5《阀门》发表的《抗环烷酸油品腐蚀阀门密封面堆焊材料的研制及应用》一文中提到的《抗环一号》就是 SF-5T 焊条。

4. 3. 3. 2 在天然气提取 H₂S 西南地区某厂使用堆焊钴基合金的密封面，在 H₂S 浓度为 6.7%-97%，工作温度 T=20℃-350℃ 时产生 H₂S 应力腐蚀裂纹，而改用 SF-5T 焊条堆焊密封面解决了 H₂S 的应力腐蚀裂纹。

4. 4 国内在阀门密封面研究方面取得的相关成果

4. 4. 1 合肥通用所取得成果

合肥通用所对密封面不同材料配对、表面氮化、磨擦系数、许用比压、擦伤试验机的研制，擦伤机理的研究做了大量的工作，有效地为国内阀门厂给与技术支持，发表的文章有：

密封面配对的试验研究《化工与通用机械》1980No2

中温中压阀门密封面耐擦伤性能研究《化工与通用机械》1982No7

提高阀门密封副耐擦伤性能的研究《流体工程》1984No1

4. 4. 2 武汉材保所取得的成果

较早建立了阀门粉末等离子焊机和制粉基地，与沈阀所共同开展了铬锰合金用于粉末等离子堆焊的研究。已经发表的文章和已鉴定完成的项目有：

阀门密封面用等离子喷焊铁基铬锰自熔性合金粉末材料的研究《阀门》
1985 年 No4 沈阀所、武汉材保所

大口径铸钢中压阀门密封面等离子弧堆焊材料及工艺，已完成项目鉴定

大口径铸铁蝶阀密封面等离子弧堆焊材料及工艺，已完成项目鉴定

大口径铸铁低压阀门密封面等离子弧堆焊铜基合金粉末材料及工艺，已完成项目鉴定

对以上三个项目仍未看到在阀门厂推广的消息报导，有兴趣的阀门厂可向材保所咨询。

4. 4. 3 哈尔滨焊接研究所的成果

哈焊所在国内较早建立起粉末等离子堆焊机的单位，在 70 年代研制出中温中压配对使用的两种堆焊焊条；D507Mo 焊条堆焊闸板、（阀瓣），D577 焊条堆焊阀体或（阀座）；同期也研制出代钴的 D547Mo 电站阀门堆焊焊条。

90 年代初又研制成功代钴镍基合金粉末和焊丝，同时可以进行粉末等离子堆焊和送丝氩弧堆焊阀门件，但是 NDG-2 焊丝不能用氧乙炔气焊堆焊。D507Mo 和 D577 两种焊条的擦伤曾经沈阀所做过擦伤管路寿命试验，我认为这两种焊条配对使用是可以提高中温中压阀门密封使用寿命，而密封副同时使用同一种焊条就没有提高寿命的效果，D507Mo 和 D577 两种焊条已在 97 年和 87 年的《焊接材料产品样本》有过介绍，对国内阀门行业影响很大。

我们用这两种焊条配对使用样本介绍的 D507Mo 的硬度 $HRC \geq 38$ ，实际供应的焊条 $HRC \geq 50$ ，D577 焊条介绍硬度 $HRC \geq 28$ ，实际硬度低于这个数值。我们也使用过 NDG-2#镍基合金焊丝，该材料 90 年代的单价为 150 元/kg，技术还是比较成熟的。DN547Mo 电站阀门也可在焊条材料产品样本查到，我厂使用过

D547Mo，这种焊条堆焊时容易出现裂纹，堆焊工艺性不好，不好掌握，我厂在推广 **D507Mo** 焊条的工作最后以失败告终。

总之：哈焊所对国内阀门密封面技术的进步是做出过很大贡献的。

4. 4. 4 沈阀厂和沈阀研究所的成果

在 60 年代第一个在国内研制成功钴基合金送丝等离子堆焊和埋弧自动堆焊，在 80 年代又研制成功铬锰合金粉末等离子堆焊，沈阀厂从 60 年代初就建立阀门堆焊焊条和阀门埋弧自动焊所需要的高合金非溶炼焊剂的生产基地。

70 年代初研制成功了铬锰氮（**Cr-Mn-N**）合金，发现在合金中过渡氮（**N**）对提高合金的抗擦伤性影响极大，很快将这种合金做成 **SF-3T** 焊条（85 号）和 **SF-3J** 焊剂（85 号），迅速用于手工和自动堆焊生产，既解决阀门寿命，也解决阀门堆焊效率问题。

80 年代中期研制成功铬锰硼（**Cr-Mn-B**）合金，发现在合金中过渡硼（**B**）对提高合金的抗擦伤性能比氮（**N**）的影响还大，同样迅速把这种合金制成 **SF-4T** 焊条和 **SF-4J** 高合金非溶炼焊剂，迅速把它应用于手工和埋弧自动堆焊，发现该合金不但进一步提高了阀门密封面的使用寿命，而且在自动堆焊合金成分有较大波动时堆焊合金硬度较高，硬度非常稳定。而且这种合金堆焊工艺性好。这项研究成果获得了国家发明型专利和一机部三等科技进步奖。

80 年代末、和 90 年代初沈阀所又先后研制成功取代钴基合金的高温耐腐蚀阀门 **SF-5T** 堆焊焊条和高温高压电站阀门 **SF-6T** 堆焊焊条，通过用户挂片对比试验和生产实际证明 **SF-5T** 焊条堆焊阀门密封面在抵抗含环烷酸高硫石油介质中，在 150℃-450℃ 高温均匀腐蚀优于钴基合金；在含 H_2S 的天然气抗 H_2S 的应力腐蚀，堆焊 **SF-5T** 的密封面同样优于钴基合金。

从参考资料《1992 年-1999 年堆焊 **SF-5T** 产品型号规格及价格明细表》沈阀厂统计的数据可知这期间 **P(CF8)**、**R (CF-3)**、**I (C5)** 材质的 807 台产品全部用 **SF-5T** 焊条堆焊取代了钴基合金，创产值 975 万元，节约钴基合金材料费约 50-70 万元。用 **SF-6T** 电站阀门堆焊条同期堆焊了三十余台 2 “**J65Y3500**

磅级截止阀，用户反映良好，在 2000 年以前年年有定货，电站阀门代钴 SF-6T 焊条的研制是一机部下达的八九带科研基金的技术攻关项目。

应该指出的是 SF-5T、SF-6T 两种焊条的单价比钴基合金焊条焊丝便宜的多，但是我仍然建议不要用在核电阀门、军工、出口阀门上，因为这两种材料仍然缺少三十年以上的用户考核结果，仍然应该采用钴基合金堆焊。

沈阀厂和沈阀所的科研成果是几十年奋斗结果，得来不易。我能参与其间，我感到十分的欣慰。

我们出版了《阀门堆焊技术》，并 1994 年由北京机械工业出版社出版发行，此书不包括 SF-5T、SF-6T 材料内容，有需要的可以与出版社联系，此书目前市面已经买不到。

4. 4. 5 上海阀门厂的成果

该厂在国内阀门行业厂中是较早采用粉末等离子工艺方法并建有自己的制粉生产基地，80 年代末、90 年代初该厂与哈焊所协作共同研制和推广了代钴的镍基 NDG-2 粉末等离子堆焊，95 年我到该厂参观学习时该厂的闸板、阀办采用 D507Mo 焊条堆焊，阀座圈采用粉末等离子堆焊。

4. 5 影响密封面寿命的其它因素

4. 5. 1 比压对抗擦伤性能的影响

比压对抗擦伤性能有着极大的影响。因一对磨擦副，提高比压，抗擦伤性能显著降低。根据试验结果与国内制造厂使用经验，并参照国外标准建议采用表 11 的推荐选用的阀门密封副和许用比压

推荐选用的阀门密封副及其许用比压 表 11

密封副		硬度差 (HRC)	使用温度 (≤℃)	许用比压 (MPa)	硬度 (HRC)
闸板（阀瓣）	阀座				
D802(HS111)	D802(HS111)	—	≤600	80	38~45
NDG-2#	NDG-2#	—	≤600	80	40~45
SF-6T	SF-6T	—	≤600	80	≥38*
SF-5T	SF-5T	—	≤500	60	32~40

SF-4T 焊条(137 号)	SF-4T 焊条 (137 号)	—	≤450	60	32~40
SF-4J 焊剂(137 号)	SF-4J 焊剂 (137 号)				
F326	F326	—	≤450	60	38~40
SF-3T 焊条 (85 号)	SF-3T 焊条 (85 号)	—	≤450	45	32-40
SF-3J 焊剂 (85 号)	SF-3J 焊剂 (85 号)				10HRC32-40
D507Mo	D577	10~15	≤450	45	≥38、 ≥28
F321	F321	—	≤450	60	40~50
F322	F322	—	≤450	60	36~45
2Cr13	2Cr13	13~15	≤450	20	52~55、 37~40
HS221	HS221	—	≤200	20	HB280

* -720℃回火后硬度

4. 5. 2 吻合度对抗擦伤性能的影响

吻合度是影响比压大小的重要因素之一，它对抗擦伤性能有直接的影响。在介质压力相同的情况下，比压与吻合度成反比，吻合度越小，比压越大，越容易擦伤，因此要提高阀门密封面的寿命，必须提高阀门密封面的吻合度，以降低比压，国外阀门标准规定阀门密封面的吻合度为 100%，即阀门关闭时，阀座密封面全部被闸板覆盖。我国规定阀门密封面吻合度 60%-70%。

4. 5. 3 堆焊密封面材料选择的依据

选择阀门密封面堆焊材料，首先应满足阀门的使用要求，寿命长、密封性能好，应根据阀门密封面的主要失效形式，注意材料的综合性能、工艺性、加工性，经济性选用堆焊合金材料。

根据使用温度、压力、使用介质选择密封面材料。

根据堆焊材料的焊接工艺适用性选择密封面材料，其中材料堆焊的抗裂性是极重要的指标。根据堆焊材料的加工性选择密封面材料，因此对阀门密封面的三度即粗糙度、吻合度及硬度，提出了严格要求，由于堆焊合金是高硬度的材料，难于加工，规定密封面硬度一般不要太高。

4. 5. 4 现使用几种堆焊材料经济技术分析：

手工堆焊 18-8 不锈钢与 2Cr13 相比，18-8 焊条价格较贵，硬度太低，因此除特殊情况外，18-8 不锈钢不应作为阀门堆焊材料，应彻底淘汰。大量试验研究证明，手工堆焊 2Cr13,1Cr13,由于工艺复杂，寿命技

术经济效果差，中温中压阀门应选择 SF-3T, 85 号合金焊条手工堆焊、SF-3J,

85 号合金焊剂的自动堆焊，中温高压碳钢阀门建议选用 137 号合金 SF-4T 焊条手工堆焊和 137 号合金焊剂的自动堆焊以及 F326 等粉末的等离子堆焊。

85 号、137 号合金可以实现自动堆焊，各种含硼的铁基合金粉末等离子堆焊比手工堆焊生产效率提高 3-6 倍，密封面使用寿命比 2Cr13 提高几十倍，采用埋弧自动堆焊工艺、粉末等离子堆焊工艺可节约大量工时、省电、省材料，大大降低了密封面制造成本。

D507Mo 与 D577 两种焊条配对堆焊密封面也有较高的使用寿命，也可以堆焊中温中压碳钢阀门，选这两种焊条首先要注意配对使用，其次要注意这两种焊条单价较高。

钴基司太利合金是国内外高温耐腐蚀阀门普遍采用的堆焊材料，由于我国钴资源匮乏，国内几十年来研制了四种代钴的 D547Mo，NDG-2#、SF-5T、SF-6T 代用材料。这四种代钴材料我厂都用过，我们的看法是：由于 D547Mo 抗裂性不好，不宜采用，NDG-2#材料可以采用，SF-5T 材料可以采用，SF-5T 焊条在含环烷酸的石油介质的高温均匀腐蚀和天然气中含 H₂S 高温应力腐蚀比钴基合金好。SF-6T 焊条在沈阀门厂生产的 2“65Y3500 磅级电站截止阀堆焊成功地取代了钴基合金。我们认为钴基合金高温性能较好，但它的抗腐蚀性较差，国内钴基合金的单价在 380-500 元/公斤之间波动；NDG-2 单价在 150-170 元/公斤波动；SF-5T、SF-6T 两种焊条单价在 100 元/公斤左右。

5 85 号堆焊合金（SF-3T、SF-3J） 简介

5.1 材料的研究工作方法

将各种成分堆焊金属做相同尺寸，表面状态相同的擦伤试块，将研究的堆焊成分合金对 2Cr13 和堆焊的钴基合金试块进行常温擦伤对比试验，其目的是堆焊材料粗选。经过 85 次试验找出各方面性能好的 85 号合金，详见图 3 和表 12。然后再将 SF-3T 焊条 85 号合金堆焊 DN100 闸阀与密封面表面状态相同的堆焊钴基合金 2Cr13 合金等阀门在台架寿命

试验台上进行阀门寿命试验对比。阀门台架寿命试验采用大流量带压差启闭对比试验方法如表 13，寿命对比试验结果如表 14，用这种方法进行堆焊材料的精

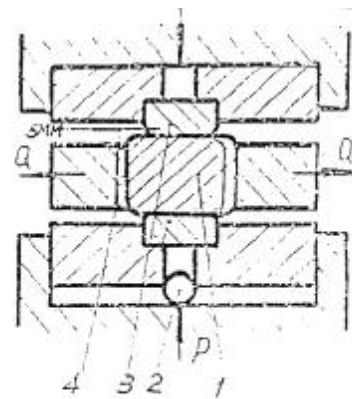


图 3 干摩擦试验原理图

1 轴 2 钢球 3 试块 4 限位位置
P—14 公斤/厘米² Q—使试块往返运动力

选，这期间也同时进行其它性能试验，这里不述详见参考材料《Cr-Mn 阀门密封面堆焊合金的研究》

不同材料抗擦伤性试验结果对比

表 1 2

材料编号	材料名称	硬度（HRC）	试验温度	比压 kg/cm ²	擦伤次数	擦伤深度情况
$\frac{85}{85}$	Cr12Mn8	$\frac{44}{42} \frac{42}{43.5} \frac{43}{47}$	室温	600	149	痕迹 0.01μ
$\frac{99}{99}$	Cr15Mn13Mo	$\frac{19}{18} \frac{17.5}{20} \frac{17}{18}$	"	600	203	痕迹 0.015μ
$\frac{110}{110}$	100Cr12Mn9Si	$\frac{33}{30} \frac{34}{32} \frac{36}{34}$	"	600	57	痕迹 0.02μ
$\frac{13}{31}$	2Cr15MnSiS 2Ccr12MnSiS	$\frac{23}{46} \frac{22.5}{44.9} \frac{22}{46}$	"	600	33	痕迹很深
$\frac{25-1}{25-1}$	2Cr13	$\frac{42}{46} \frac{44}{43} \frac{45}{44}$	"	600	30	"
$\frac{25-2}{25-2}$	2Cr13	$\frac{27}{44} \frac{30}{43} \frac{28.5}{45}$	"	600	4	痕迹 0.233μ
$\frac{12}{1}$	2Cr15Mn2Si 2Cr12Mn2Si	$\frac{36.5}{49} \frac{38.8}{50} \frac{37}{47.5}$	"	600	49	痕迹 0.200μ
$\frac{30}{30}$	钴基合金	$\frac{42}{43} \frac{40}{42.5} \frac{44}{40}$	"	544	549	痕迹 0.01μ

不同试验方法密封面寿命结果对比

表 13

试验方法	比较方法	密封面磨擦行程	介质流量	介质压关	密封面受力情况	试验材料	启闭次数	分析比较
带压启闭	观察破坏情况 介质管道通径 φ 4- φ 6 记	微小	微小	25kg/cm2	阀杆楔紧力，外加介质压力	SF-2 SF-2	4000次	从阀体一侧（或中腔打压，虽有介质压差，但流量微小，不能代表实际使用条件，）

	启闭次数							
大 流 量 带 压 差 启 闭	观察破坏情况，介质管道通径 $\phi 100$ 检查泄量，记启闭次数。	大	0~80 吨/小时	20kg/cm ²	阀杆楔紧力加介质压力	<u>SF-2</u> SF-2	低于 75 次	模拟恶劣条件在介质太差 20kg/cm ² ，大流量作用下密封面得最大磨擦行程，加速破坏，恶化于工况条件

85 号合金是在焊条配方合金调整 85 次在直动擦伤机对比试验得到满意结果而得名，SF-3T、SF-3J 85 号合金是 Cr-Mn-N 表面硬化型合金，首先研制成功堆焊焊条，采用 HO8A 焊芯，合金成分由焊条药皮过渡，厂内牌号为 SF-3T。接着又研制成功埋弧自动堆焊，采用 HO8A 盘状焊丝，焊剂采用非溶炼高合金焊剂(陶瓷焊剂,)堆焊合金成分全靠合金焊剂过渡。这种焊剂厂内牌号为 SF-3J。

寿命试验记录表

表 1 4

试验阀编号 No	密封面合金名称	硬度 (HRC)	产生有破坏的擦伤次数	
			干磨擦平均 往复次数	工况平均 启闭次数
<u>99</u> (阀体) 99 (阀板)	铬锰合金	<u>15-20</u> 15-20	203	50*1
<u>84</u> (阀体) 84 (阀板)		<u>25-30</u> 25-30		
<u>110</u> (阀体) 110 (阀板)	铬锰合金	<u>30-35</u> 30-35	57	2200*
<u>85</u> (阀体) 85 (阀板)		<u>40-47</u> 40-47		
<u>30</u> (阀体) 30 (阀板)	钴基合金	<u>39-43</u> 39-43	549	3200
<u>12</u> (阀体) 1 (阀板)		<u>26-34</u> 38-45.5		
	过渡合金		41	低于 75

<u>25</u> (阀体)	2Cr13 合金	<u>37-40</u>	4	低于 75
25 (阀板)		43-45		

85 号合金的手工电弧堆焊和埋弧自动堆焊抗裂性和堆焊工艺性特好。采用 SF-3T85 号焊条不预热可以堆焊两米闸阀，而不出现裂纹等缺陷，其成分如表 15。

85 号堆焊合金的成分和硬度

表 15

堆焊合金 成分 材料名称	化学成分 (%)							硬度 (HRC)
	C	Si	Mn	Cr	N	S	P	
SF-3T	≤0.2	0.7-1.5	7.0-8.5	12-14	≤0.2	≤ 0.02	≤ 0.03	150HRC32-40
SF-3J	≤0.2	1.0-3.0	7.0-10.0	12-18	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	10HRC32-40

采用不同规范自动堆焊 DN200 闸板的 150HRC 洛式硬度计检测的硬度 表 16

产品 编号	成分 (%)				硬度 (150HRC)								平均硬度 (150HRC)
	C	Si	Mn	Cr	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0.1	2.1 6	11.5	18.0	27	27	26	28	30	27	29	27	27
2	0.1 4	1.8	10.5	16.2	30	32	31	32	31	31	33	30	31
3	0.1 4	1.6 6	8.95	14.3 5	42	43	45	42	45	39	45	45	43
4	0.1 5	1.4 4	8.7	12.7 5	44	49	48	50	51	52	50	48	49

5. 2. 2 从表 16 可以看出 Cr=12-14，用 150HRC 洛氏硬度计检查硬度是相当稳定的，这在用手工控制焊条药皮厚度还是容易达到要求的，而自动堆焊由于车间网络电压波动成分和硬度在这个范围内无法控制，因此同一种合金材料用二种工艺方法生产成分验收标准就应该有所区别。因而二种工艺方法堆焊 85 号合金的硬度也应该用不同硬度计（150HRC、10HRC）检查，如表 17、表 18。

5. 2. 3 85 号合金堆焊层硬度的讨论

表 17

试件编号	不同载荷（公斤）洛氏硬度计	堆焊金属合金类型	硬度（HRC）				平均硬度度（HRC）
			1	2	3	4	
1	150	85-1	21	25	24	22. 2	23
	10	85-1	46	45	46	46	46
2	150	85-2	26	22. 5	24. 8	26	25
	10	85-2	38	35	37	39	37
3	150	85-3	24. 5	21. 5	24	25. 5	24
	10	85-3	38	40	42	42	41
4	150	85-4	37. 5	26. 8	21	26	28
	10	85-4	36	36	37	36	36

以上数值是 85 号自动堆焊 DN300 闸板密封面切成四块试验分别由 150 公斤和 10 公斤载荷硬度计检测的结果，用 10 公斤洛氏硬度计检测硬度较高，而用 150 公斤洛氏硬度计检测的硬度值较低，10 公斤硬度计检测的表面 0.2mm 以上焊层的硬度，150 公斤检测是 0.5mm 以下的硬度，证明 85 号合金是表面硬化材料，DN300 闸板密封面的成分为：C=0.15、 Si=2.5、 Mn=10.2、 Cr=16.9。

自动堆焊和手工堆焊允许成分波动范围及硬度要求

表 18

序号	堆焊方法和技术条件	含铬量（%）	硬度计种类
1	手工焊条堆焊金属	12.0~14.0	150HRC32-40
2	自动堆焊金属	12.0~18.0	10HRC32-40
3	两种堆焊方法成分允许值	14.2 ⁺⁴	

从表 16、表 17 表 18 可以看出应该用 10 公斤手提洛氏硬度计检测自动堆焊阀门密封面硬度，而对手工堆焊密封面用 150 公斤洛氏硬度计检查硬度。

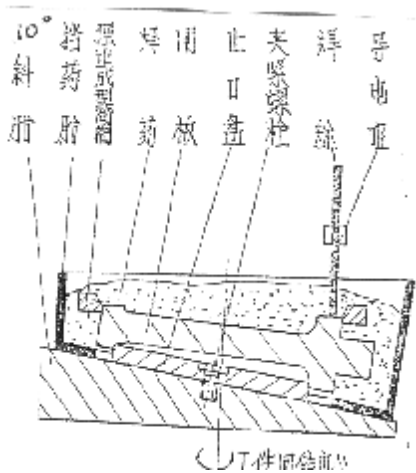
5. 2. 4 同一个密封面焊层不同高度上密封面的硬度检测结果

表 19

5. 2. 4 同一个密封面焊层不同高度上密封面的硬度检测结果表 19 堆焊工艺参数	自动堆焊材料	焊层加工高度	焊层不同加工高度成分) (%) 不同焊层加工高度成分 (%)									
			C	Si	Mn	Cr	1	2	3	4	5	6
同一种	同一种	1mm	0.15	未检	未检	20.18	35.5	33.5	32	35	34	34
		2mm	0.14			19.90	34	36	34	34	33.5	35
		3mm	0.124			20.8	31	31.5	35.5	28.5	35.5	32.4

从表 19 可以出 SF-3J 85 号合金自动堆焊合金只要求堆焊一层，而在同一层的不同高度焊层上的成分和硬度基本都一样，这在手工焊条堆焊是实现不了的，手工焊条堆焊与母材接触的底层成分和硬度都不合格，只有加工焊层大于 2mm 时才能实现成分和硬度稳定。

5. 3 自动堆焊阀体装夹



模成制或预成型型制，如图 5 所示。

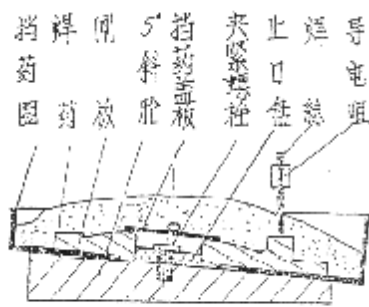
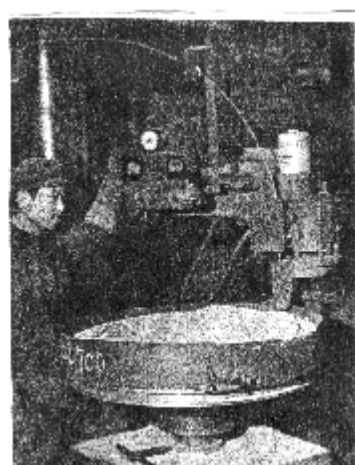
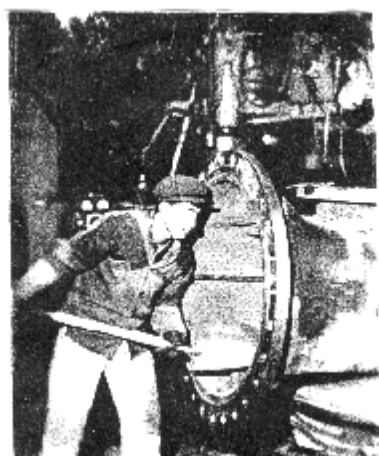


图 5 自动堆焊阀体时，阀体装夹及焊药装示意图



的高

而且是 85 号 SF-3T、SF-3J 合金抗裂性特好，不预热可以堆焊两米的大阀。

5. 4. 2 合金以锰代镍 无镍少铬制造出的堆焊材料成功用于手工堆焊焊条 SF-3T, 埋弧自动堆焊用 SF-3J 焊剂和等离子合金粉末 WF326, 85 号 SF-3J 合金的自动堆焊和粉末等离子堆焊会比手工堆焊生产效率提高 3-6 倍, 材料的价格便宜, SF-3T 焊条单价仅 20 余元, 自动堆焊的 SF-3T 焊剂单价也低于 D507Mo 焊条。

5. 4. 3 85 号 SF-3T、SF-3J 合金也有不足, 那就是在自动堆焊铬、锰过渡量较高时用 150 公斤洛式硬度计检查硬度偏低, 而用 10 公斤洛式硬度计检查硬度就合格, 存在着堆焊层表面硬, 焊层下面较软的不足, 这个问题后来被新研制的 137 号 SF-4T、SF-4J Cr-Mn-B 合金得到了彻底的解决。

5. 4. 4 85 号 SF-3T 合金和 137 号 SF-4T 合金除了沈阀所做擦伤寿命试验, 1985 年在合肥通用所阀门室做过 60Mpa 比压的擦伤试验, 结果都是擦伤次数 3000 次不漏, 我们沈阀厂内规定 85 号 SF-3T、SF-3J 合金的许用比压为 45Mpa 用于中温中压的碳钢阀门堆焊; 而 137 号 SF-4T、SF-4J 合金的许用比压为 60Mpa, 用于 ≥ 6.4 Mpa 中温高压阀门堆焊。

6 137 号 SF-4T、SF-4J 堆焊合金简介

6. 1 为什么研究 137 号 SF-4T、SF-4J 合金?

Cr-Mn-B 型合金是在 Cr-Mn-N 型 85 号 SF-3T、SF-3J 合金基础上发展起来的寿命高、硬度稳定性较好的一种阀门密封面自动堆焊作合金。虽然 85 号 SF-3T、SF-3J 合金表面硬度较高, 抗擦伤性能较好, 综合性能优于 2Cr13 合金, 但是由于 85 号 SF-3T、SF-3J 合金堆焊金属组织是马氏体, 屈氏体和少量铁素体, 堆焊金属的基体硬度受到成分、工件冷却速度等条件的影响而变化。

要保持 85 号 SF-3T、SF-3J 合金堆焊密封面基体硬度稳定, 就要求密封面的成分波动范围较窄, 这在 85 号合金焊条 SF-3T 堆焊完全可以实现, 而采用 SF-3J 自动堆焊电流、电压受网络电压波动影响, 合金成分波动范围很窄就难以实现。

我们的目的就是研制一种堆焊合金成分较宽, 用 150HRC 载荷硬度计检测硬度都合格, 也就是研究一种焊层表面和基体硬度一至, 硬度较高, 硬度稳定性较好, 同时具有良好地抗擦伤、垫伤、划伤能力综合性能比 85 号合金更好的自动堆焊合金。我们实现了这个目标。

6. 2 材料的研究工作方法

堆焊基体为 WCB DN100 闸板, 在闸板上进行埋弧自动堆焊。采用 H08A 低碳钢盘状焊丝, 堆焊金属的合金成分通过高合金非溶炼焊剂 (陶瓷焊剂) 过渡, 堆焊一层一次成型。

加工堆焊焊道至 3mm 高为密封面, 用 150kg 载荷硬度计检查硬度。对密封面金属进行各种理化性能和阀门使用性能试验, 反复调整焊剂的配方, 进行各种性能试验。调整焊剂 137 次配方和试验取得成功。故称 137 号 (SF-4J) 自动堆焊合金, 再把这种成分做成焊条, 称为 137 号合金焊条 (SF-4T)。其合金成分和硬度范围如表 20

用 1 5 0 公斤洛式硬度计检测的硬度和成分允许范围表 表 20

堆焊金属 成分 堆焊材料名称	化学成分 (%)							硬度 (150HRC)
	C	Si	Mn	Cr	B	S	P	
SF-4J 焊剂 (137 号)	≤ 0.35	1.0-3.0	7.0-10.0	12-18.0	0.6-1.2	≤ 0.02	≤ 0.02	32-40
SF-4T 焊条 (137 号)	≤ 0.30	1.4-2.5	7.0-10.0	12-17.0	≤1.0	≤ 0.02	≤ 0.02	32-40

擦伤、寿命等性能试验方法，设备与 85 号合金相同，这里不再重复。

6. 3 137 号 SF-4T、SF-4J 合金的金相组织由中科沈阳金属研究所金相室检查。

加入硼 (B) 使 85 号合金金相组织有了质的变化，马氏体等组织全部消失。1

3 7 号 SF-4T、SF-4J 合金金相组织是以奥氏体为基体，分别含有数量不等的铁素体。第二相以 Fe_2B 、 Cr_2B 为主。此外，还有数量不等的 $\text{M}_{23}(\text{C B})_6$ 硬质相。

6. 4 Cr、Mn 元素变化和 Cr 、 Mn、 B 元变化引起的硬度变化如表 21、表 22、表 23

Cr 、 Mn 元素变化引起的硬度的变化 表 21

堆焊合金 编号	化学成分 (%)					平均 HRC 硬 度用 150 公斤 硬度计
	C	Si	Mn	Cr	N	
85	0.13	-	8.13	12.10	0.1411	44
110	1.06	0.38	9.60	12.95	-	33
99	0.26	-	13.15	15.80	-	18
117	0.13	0.39	10.40	15.0	-	16.8

Cr 、 Mn 、 B 元素变化引起的硬度的变化 表 22

合金试块 编号	化学成分 (%)					平均 HRC 硬度用 150 公斤硬度计
	C	Si	Mn	Cr	B	
19-7	0.31	1.72	8.25	12.4	0.94	37.8
22-1	0.31	2.42	9.87	19.6	1.03	40.16
24-3	0.31	2.15	10.40	17.06	0.69	37.0

试块号	相 组 成				
19-7	Γ -Fe(基体奥氏体)	α -Fe(铁素体)	Fe_2B	Cr_2B	$\text{M}_{23}(\text{C,B})_6$ (转少)
22-1	γ -Fe(基体奥氏体)	α -Fe(铁素体)	Fe_2B	Cr_2B	$\text{M}_{23}(\text{C,B})_6$ (多)
24-3	γ -Fe(基体奥氏体)	α -Fe(铁素体)	Fe_2B	Cr_2B	$\text{M}_{23}(\text{C,B})_6$ (较多)

6.5 137 号 SF-4T、SF-4J 自动堆焊合金为什么硬度较高，硬度稳定性较好？

Cr-Mn-B 系堆焊合金中析出硬质相的定量测定采用物理化学法。以 5 % HCL、10 % 甘油甲醇为电解液提取碳硼化物及硼化物进行定量测定（电解条件相同）。用磁法测定 α （铁素体）百分比含量（表 24）。碳硼化物的定量分析结果与碳硼的含量及金相观察显示的数量相符合。

堆焊金属中第二相的含量和重量度

表 24

试块 编号	合金中 (C+B) 含量重量 (%)	碳硼化物总量 占合金总量 (%)	铁素体含量 (%)	平均 HRC 硬度用 150 公斤硬度计
19-7	1.25	7.22	0.5	37.8
22-1	1.34	10.44	4.5	40.16
24-3	1.00	4.59	1.0	37.0

6.6 试验结果讨论

6.6.1 查阅碳硼化物的硬度值， Cr_2B 为 1350 kg/mm^2 ， Fe_2B 为 $1290 - 1680 \text{ kg/mm}^2$ ， Cr_{23}C_6 为 1650 kg/mm^2 ，这些高硬度的碳硼化物分布在晶界，形成耐磨骨架，这是 Cr-Mn-B 137 号合金具有较高耐磨性的主要依据。

6.6.2 从表 21 可以看出，SF-3J 85 号自动堆焊合金因成分变化而引进堆焊金属硬度有较大变化，而从表 22 可以看出在 SF-4J 137 号自动堆焊合金中除了加入产生铁素体、奥氏体软组织 Cr、Mn、Si 等元素同时，也加入一些产生高硬度硬质相的硼化物，使其在自动堆焊电弧电压升高时，过渡 Cr、Mn、Si 等元素增加的同时也增加硼化物的过渡量，使其化学成分在某一范围内变化时产生硬质相元素的过渡量永远与产生软组织元素的过渡量达到某一动平衡。硼化物的数量虽少，但它产生硬质相的硬度是软组织的几十倍。因此 137 号自动堆焊合金成分有一定波动的情况下，保持硬度较高，保持堆焊金属硬度值基本稳定不变如表 22、表 23、表 24。

6.6.3 根据金相分析和技术经济对比的结果，选用 HO8A 芯线 Cr-Mn-B 非溶炼焊剂高合金焊剂，选定 137 号堆焊合金代表成分如表 22 所示，生产上堆焊

金属成分允许有一定范围的波动。即允许 Cr=12-18 波动，而 150HRC=32-40。

6. 7 SF-4T 137 号合金的抗擦伤性和寿命试验结果：

采用与 SF-3T 85 号合金相同的试验方法和试验装置进行 SF-4T137 号合金的擦伤和寿命对比试验，其结果如表 25 和表 26 所示。

擦伤试验结果对比

表 25

试件号	擦伤副材料 材料	热处理方法 方法	擦伤副材料硬 度 HRC	往复 次数
1	2Cr13	淬火-回火	<u>52、54、52</u>	2
	2Cr13		52、49、52	
2	2Cr13	淬火-回火	<u>48.5、48、48</u>	3
	2Cr13		51、51、49.5	
3	2Cr13	淬火-回火	<u>48.5、49、49</u>	4
	2Cr13		50、51、49	
SF-4T (137-1)	SF-4T137	焊后空冷	<u>38、36、37</u>	46
	SF-4T 137		37、36、36	
SF-4T (137-2)	SF-4J137	焊后空冷	<u>36、36、34</u>	108
	SF-4T 137		36、35、37	
SF-4T (137-3)	SF-4T 37	焊后空冷	<u>34、37、38</u>	113
	SF-4T 137		37、37、35	
SF-3T 85-1	SF-3T85	焊后空冷	<u>40、40、41</u>	86
	SF-3T85		40、38、38	
SF-3J (85-2)	SF-3J85	焊后空冷	<u>36、35、34</u>	60
	SF-3J85		40、40、39	
SF-3T (85-3)	SF-3T85	焊后空冷	<u>38、36、39</u>	57
	SF-3T85		46、45、45	

台架寿命试验结果

表 26

试验阀 编号	试验阀型号	密封面材料	开关 次数	泄漏量
1	AZ41H25DN100	2Cr13/2Cr13	50	大量泄

				漏
2	AZ41H25DN100	2Cr13/2Cr13	50	大量泄 漏
3	AZ41H25DN100	137/137	3000	无泄漏
4	AZ41H25DN100	137/137	5500	无泄漏

寿命对比试验条件，介质为水，压力 0-25kg/cm²，流量 0-50T/h，PH 值 5.8，泥砂含量 50mg/L，启闭周期 2 次/min。

6. 8 阀门 85 号 SF-33、137 号 SF-4J 合金自动堆焊装置简介



图 15 全套阀门自动堆焊装置近影照片



图 16 全套阀门自动堆焊装置远影照片

试验方法：在试验前保证出口侧 3 分钟无泄漏，在上述条件下进行闸板启闭试验，直到阀门泄漏为止，记下开关次数及泄漏量。

SF-4T137 号合金、SF-3T 85 号合金、2Cr13 合金还做了其它性能对比试验不再述。

手工堆焊焊条的 SF-4T 137

号合金的性能与自动堆焊 137 号合金相同，这里也不述。

这种自动堆焊转胎的制造的特点是：自动堆焊 $DN \leq 400$ 的闸板可以用 1.5KV 的交流电机配用上海产的麦孚变频器，采用两套蜗轮蜗杆传动，比速 30：

1



图 17 各种口径闸板密封面加工后照片之一



图 18 各种口径闸板密封面加工后照片之二

两套的比速是 **900: 1**，无需添加齿轮传动，就可以进行无级调速，如果要堆焊 **DN \geq 500** 闸板，可以再加蜗轮蜗杆的比速或套数，也可选用慢速马达。转胎的导电刷就采用市面上能买到的截面积为 **24X12mm** 普通导电碳刷，要用三个电刷，这些是江苏无锡山阀门厂最新的经验。

6. 9 137 号合金自动堆焊的技术经济分析

6. 9. 1 137 号次合金成分的研究工作中发现硼 (B) 不但提高了 85 号 Cr-Mn 合金的硬度，也提高了 Cr-Mn-B 合金的硬度稳定性。这一重大发现被国家知识产权局 1986 年授与了发明型专利。

6. 9. 2 在三种常用的阀门堆焊方法中，自动堆焊比手工焊条堆焊生产效率高 3-6 倍，比粉末等离子堆焊生产效率高 1 倍。SF-4T 137 号自动堆焊比手工堆焊 2Cr13 焊条成本降低成本 44%，而比堆焊 SF-3T 85 号合金材料成本提高 22.4%。但阀门使用寿命 SF-4T、SF-4J 137 号合金比 2Cr13 合金提高几十倍，比 SF-3T、SF-3J 85 号合金材料提高近 1 倍。

6. 9. 3 137 号 SF-4T、SF-4J 堆焊合金硬度高，硬度稳定性较好，堆焊工艺性良好，不预热可堆焊阀工件 **DN \leq 600**。137 号合金材料在合肥通用所阀门室做过 60Mpa 比压擦伤试验，密封性良好。建议 137 号合金许用比压 60Mpa，用于中温高压碳钢阀门堆焊。而 85 号 SF-3T、SF-3J 合金建议许用比压 45Mpa 用于中温中压阀门堆焊。

7 高温耐腐蚀阀门堆焊焊条 SF-5T 简介

7. 1 司太利特合金发现历史简介

美国 Haynec 1907 年在研制合金电阻时偶然获得了司太利合金。人们找到它这种合金的第一种用途是用它切削金属合金，司太利是由拉丁字《stella》星字转化来的，它既具有在高温状态下，又有在剧冷过程中都能保持高硬度和抗腐蚀的稳定性。此后证明它在钢铁工件上堆焊时有较低的磨擦系数。司太利特既可以精铸件的形式采用它，也可以用堆焊件的形式采用它制造高温高压管道所需的电站阀门零件的堆焊，喷气发动机零件的堆焊；要求抗氧化性、抗腐蚀性、抗气蚀好零件的堆焊。司太利特合金金相组织特点是碳化物的固溶体。

这种堆焊合金很快从美国传到到原苏联、日本，在 50 年代末传入中国。司太利特在美国有 20 余个型号，最常用于阀门堆焊的为 StelliteNo6 的合金成分，目前在中国这种成分焊条为 D802，裸焊丝牌号为 HS111。

7. 2 SF-5T 高温耐腐焊条研制历程

在 80 年代末 90 年代初我们开展代替钴基合金电站阀门堆焊材料研究。当时国内哈焊所已经发表代钴的 D547Mo 的手工阀门堆焊焊条，所以我们研制的 SF-5T 堆焊合金各种性能试验对比靶子就同时选用 D507Mo 和钴基合金。这时沈阀所自己有日本产的高温硬度计、高温擦伤试验机、高温金相显微镜，高温试验条件较好。研究结果详见《高温耐腐蚀密封面堆焊合金的研究及应用》。结论是 SF-5T 合金的各种性能达到 D547Mo 合金水平，但是有些高温性能还达不到钴基合金的水平。同时我们也认为采用 SF-5T 焊条取代钴基合金材料堆焊高温高压电站阀门也达不到技术要求。

在三酸一碱常温和沸腾温度的腐蚀对比试验中意外地发现 SF-5T 合金的抗腐蚀性能优于钴基合金。后来在葫芦岛（锦西）石化总厂在含环烷酸石油介质中，在四川某厂含 H₂S 天然气介质中用挂片腐蚀对比试验发现 SF-5T 合金的抗含环烷酸高硫原油介质高温均匀腐蚀和天然气中抗 H₂S 高温应力腐蚀性能均优于钴基合金。这些试验结果详见表 27、表 28、表 29、表 30

试验室内三种材料腐蚀试验对比结果 表 27

温度	时间 (h)	介质浓度 (10%)	腐蚀量 (g/h,m ²)		
			SF-5T	D547Mo	HS111(钴基合金)
常 温	500	H ₂ SO ₄	0.77	0	2.52
		HNO ₃	0	0	0
		HCL	12.8	18.82	5.11
		NaOH	0	0	0
沸 腾	12	H ₂ SO ₄	241.8	395.9	1509.8
		HNO ₃	12.1	0	93.1
		HCL	369.4	571.6	1264.1
		NaOH	8.6	0.6	0

葫芦岛石化总厂两种挂片抗腐蚀对比结果 表 28

编号	介质	时间	温度(℃)	挂片材料	腐蚀结果
1	含环烷酸原油 RCOOH	3个月	280-480	CoCrW	腐蚀严重 无法统计
2	高硫原油			SF-5T	无腐蚀

挂片处 $P_N \leq 4\text{Mpa}$ ，介质含环烷酸原油，酸值 $\text{mgKOH/g} < 5$ ，含硫 0.2108

两种材料在两种状态下挂片抗 H_2S 腐蚀前后重量变化

表 29

挂片号	浓度 (%)	时间 (h)	1	2	3	4	5	6
挂片材料牌号			HS111	HS111	D802	D802	SF— 5T	SF— 5T
回火 550℃Xh		14个 日夜	回火	回火	回火	回火	回火	不回
腐蚀前	6.7	1336	26.993	25.471	24.86	25.063	24.722	24.917
腐蚀后	6.7	1336	26.9925	25.462	24.8595	25.0611	24.7219	24.9165

挂片的介质 H_2S 浓度为 6.7%溶液，时间为 14 个日夜，温度 45℃，压力 2Mpa

两种材料两种状态抗 H_2S 腐蚀后表面着色渗透检查结果

表 30

挂片一面 (编号)	缺陷 性质	缺陷 数量	缺陷 长度 (mm)	挂片另一面 (编号)	缺陷 性质	缺陷 数量	缺陷 长度 (mm)
1-1(HS111)	气孔	1	1	1-2(HS111)	点蚀 裂纹	1 1	1
2-1(HS111)	点蚀 裂纹	4 4	0.5-1	2-2(HS111)	无	无	无
3-1(D802)	点蚀	2	无	3-2(D802)	裂纹	1	1.5
4-1(D802)	点蚀 裂纹	3 1	5	4-2(D802)	点蚀	3	无

5-1(SF-5T)	无	无	无	5-2(SF-5T)	点蚀	8	无
6-1(SF-5T0	点蚀	1	无	6-2(SF-5T)	点蚀	6	无

HS111—相同成分的钴基合金焊丝，**D802**-相同成分地钴基合金焊条，从上表可以看出 **HS111** 和 **D802**

挂片腐蚀后出现 H_2S 应力腐蚀裂纹，而 **SF-5T** 持片的两侧腐蚀后没有出现 H_2S 应力腐蚀裂纹，。

7. 3 SF-5T 堆焊材料在生产的应用

7. 3. 1 1999 年末用 **SF-5T** 焊条在葫芦岛石化总厂 DN50~450 的 CF8、CF3、WCB 材料上堆焊了二百余台阀门。工作温度在 150℃-450℃，堆焊钴基合金有环烷酸腐蚀，小于 150℃不出现这种腐蚀，在堆焊抗环烷酸阀门腐蚀性 **SF-5T** 成功地取代了钴基合金。

7.3.2 2002 年~2003 年某厂为四川某厂用户使用 **SF-5T** 焊条堆焊 DN40~500，CF8C 抗 H_2S 应力腐蚀阀门 212 台。阀门用户厂反映这种 **SF-5T** 堆焊阀门密封面在 H_2S 的水溶液 H_2S 的浓度 97-99%，工作温度 20℃-350℃，压力 1.8-2.0Mpa 工况条件下，运行良好。在堆焊抗 H_2S 腐蚀的阀门成功取代了钴基合金。

7. 3. 3 在沈阀门厂 1992 年-1999 年由总工程师批准在 CF8、CF3、C5 的材料的阀门上用 **SF-5T** 焊条取代钴基合金堆焊的阀门总共 807 台，详见《1992~1999 年堆焊 **SF-5T** 产品型号规格及明细》沈阳莱英达阀门有限公司 1999 年 4 月 21 日。

7. 4 SF-5T 高温耐腐蚀阀门的技术经济分析

7. 4. 1 **SF-5T** 成功地在含环烷酸的原油介质中取代了钴基合金。获得发明型专利。

7. 4. 2 在 2000 年以后又在四川证实堆焊的阀门密封面又具有抗天然气含 H_2S 应力腐蚀特性。所以这种材料可以在这些领域里取代钴基合金。

7. 4. 3 **SF-5T** 焊条堆焊工艺性、抗氧化性、热态组织稳定性、抗热疲劳性达到钴基合金的水平，它的单价比钴基合金便宜 2-4 倍。**SF-5T** 焊条完全可以满足除电站阀门以外的高温耐腐蚀阀门密封面的使用要求。

7. 4. 4 堆焊合金成分 $C \leq 0.38$ 、 $Si \leq 2.0$ 、 $Mn=7-10$ 、 $Cr=14-18$ 、 $W=1.5-3.0$ 、 $Mo=2.5-4.0$ 、 $V=1.5-3.0$ 、 $B=0.7-1.2$ 、堆焊合金组织是以奥氏体为基体，第二相为碳化物硬质相。堆焊合金硬度稳定 $HRC=32-40$ 。建议使用介质为酸、碱、盐溶液，工作温度 $T \leq 500^{\circ}C$ ，许用比压为 $60Mpa$ 。

8. 代 HS111（D802）钴基合金电站阀门密封面堆焊合金 SF-6T 简介

8. 1 这个项目由来和技术要求

本课题是一机部 1990 年下达到的带科研基金 5 万元的八五重大技术攻关项目，要求在 1995 年完成。技术要求是研制一种铁基合金堆焊材料代替昂贵的钴基合金（HS111）、D802 做为电站阀门密封面堆焊材料。新材料的高温硬度高温擦伤、热态组织稳定性、抗氧化性、抗热疲劳性达到了钴基合金水平；材料单价要比钴基合金便宜 60%，堆焊电站阀门的母材为 12CrMoV、WC9,工况条件同时高温高压条件下在饱和过热蒸气条件下工作。该项目于 1995 年完成，于 1995-1998 年四次为山东电厂先后堆焊生产了三十余台 2 “65Y3500 磅级的截止阀上，用户满意。1998 年 10 经国家鉴定并 1999 年获得三等科技进步奖。

8. 2 主要高温性能试验结果对比

8. 2. 1 高温硬度性能试验结果对比

两种材料的堆焊金属硬度高温硬度用日本产高温硬度计上测定，载荷 30kg 加载 15 秒。从室温测定到 $700^{\circ}C$ ，每个温度测 3 点，取平均值，画出对比曲线。从曲线可知，SF-6T 合金起始点虽然稍低，但曲线下降平缓，具有与 HS111 钴基合金相似斜率的高温硬度曲线。SF-6 合金具有良好红硬性达到钴基合金水平。（曲线略）

8. 2. 2 高温抗擦伤性试验数据对比

高温硬度检测对比 表 31

试块 编号	堆焊材料	比压 (mpa)	温度 ($^{\circ}C$)	擦伤 次数	擦深比 ($\mu m/m$)
1	SF-6T	60	570	10	200
2	SF-6T	60	570	10	110
3	SF-6T	60	570	10	115

平均					141.67
4	HS111	60	570	10	133.3

表 31 可以看出，SF-6T 材料与 HS111 钴基合金的抗高温擦伤性能是一个等级。

8. 2. 3 热态组织稳定性试验结果对比

将两种材料试块加热 600℃，经过不同加热时间保温，检查加热前后两种材料的硬度变化，做成两种对比曲线。从曲线看出，SF-6T 与 HS111 经 600℃不同保温时间后空冷检查常温硬度，硬度均有所提高。两种材料热态组织稳定性几乎相同。两组曲线略。

8. 2. 4 抗热疲劳试验结果对比

抗热疲劳对比

表 32

堆焊材料	冷却方法	热循环数
HS111	空冷	53 次未裂
	水冷	2 次裂
SF-6T	空冷	53 次未裂
	水冷	52 次未裂

热疲劳试验是考核堆焊合金在冷热交变作用下抗裂纹产生的能力，是以堆焊金属出现裂纹的循环次数来评价。一般认为，如果把堆焊试件加热到工作温度然后空冷或水冷，循环次数越多，堆焊金属的抗热疲劳越好。从表 32 看出 HS111 和 SF-6T 两种材料相仿，SF-6T 略优于 HS111。

8. 2. 5 抗氧化性试验结果对比

抗氧化性对比

表 33

取样时间 (h)	堆焊材料	
	HS111	SF-6T
48	0	0.0000002
72	0	0.0000009
96	0.000002211	0.0000017
120	0.000004777	0.0000029

试验采用增重法。工艺规范为 600℃保温 48 小时，开始各取两种堆焊合金第一试块，以后每隔 24 小时各取一个试块，直止保温 120 小时各取第四个试块

为止，用天平检测每个试块重量。从表 33 可以看出两种材料抗氰化性几乎相同。

8. 2. 6 各种状态下 SF-6T 和 HS111 硬度试验结果对比

各种状态下硬度对比 表 34

堆焊材料	状态	硬度（HRC）					平均 HRC
	堆焊后	32	31.5	32.5	32.5	34	32.5
	720℃回火	37	40.5	39.5	39.0	36.5	38.5
HS111	堆焊后	43	44	42.5	42.5	43.5	43.1
	720℃回火	44	44.5	44.5	41.5	44.5	43.8

从表 34 可以看出 SF-6T 材料有明显二次硬化现象，对电站阀门生产非常有利。

两种材料抗气蚀试验结果对比 表 35

试件材料	原重（g）	试后重（g）	23h 失重（mg）	失重率（mg/h）	抗气蚀系数
A102	29.88375	29.63521	248.54	10.800	1
SF-6T	29.42925	29.41855	10.70	0.465	23.22
HS111	29.48770	29.48473	2.97	0.130	83.07

试验结果采用失重性。一般选择 18-8 不锈钢抗气蚀系数为 1，不锈钢抗气蚀性最差，抗气蚀系数越高越好。HS111 钴基合金最好，SF-6T 次之，HS111 抗气蚀系数是不锈钢的 83 倍，SF-6T 是不锈钢的 23 倍。

两种堆焊材料技术指标完成情况对照表 表 36

技术指标 合金名称	高温 硬度	抗高温 擦伤	热态组织 稳定性	抗热 疲劳	抗氧 化性	不同状 态硬度	抗气 蚀性
HS111	优	优	优	良	优	优	优
SF-6T	优	优	优	优	优	优	良

8. 3 技术经济分析

8. 3. 1 从表 36 可以看出 SF-6T 堆焊电站阀门密封面在 7 项技术指标全部达到要求，完全可满足技术要求，这种材料只能堆焊电站阀门而不能用于耐腐蚀阀门。

8. 3. 2 钴基合金材料单价这几年在 380-500 元范围内波动, SF-6T 的单价比钴基合金便宜 3-5 倍。

8. 3. 3 SF-6T 焊条堆焊工艺性良好, 堆焊 DN100 的阀件可以不预热, 堆焊大中型阀件需要预热或堆焊不锈钢过渡层等工艺措施。

8. 3. 4 SF-6T 堆焊合金的成分 $C=0.8-1.1$ 、 $Si \leq 0.5$ 、 $Mn \leq 7.0-9.0$ 、 $Cr=13.0-17.0$ 、 $Mo=1.4-2.0$ 、 $B \leq 0.2$ 。

堆焊合金的组织是以奥氏体组织为基体, 第二相为碳化物的硬质相。堆焊件 720℃, 回火后 $HRC \geq 38$, 硬度稳定。建议使用温度 $\leq 570^\circ C$, 使用许用比压为 80Mpa。

8. 3. 5 SF-6T 的其它内容详见《代 HS111 钴基合金电站阀门密封面堆焊合金的研究与应用》, SF-5T 的内容详见《高温耐腐蚀阀门堆焊材料 SF-5T 的研制应用》。

9 钴基合金 HS111 排丝等离子堆焊简介

9. 1 为什么讲这个题目? 为什么介绍这种堆焊工艺方法?

因为在国内阀门行业钴基合金是最常用的材料, 这种材料可以气焊法堆焊、氩弧焊法堆焊、粉末等离子堆焊、手工电焊条电弧堆焊。但是钴基合金也可以采用排丝等离子堆焊。它比以上四种方法的优点是生产效率高, 堆焊大、中、小件工艺简单, 都不需预热也不产生裂纹, 熔深浅, 只堆焊一层就可以达到成分和硬度要求。生产效率比其它手工堆焊方法堆焊大中型阀件提高 5-8 倍, 目前这种工艺方法许多阀门厂还不大了解, 这种方法不但可以进行钴基合金排丝自动堆焊, 也可以进行镍基合金 NDG-2#、蒙乃尔 (monel), 因克镍尔 (Inconel), 哈斯特罗依 (Hastelloy) 合金焊丝送丝等离子堆焊。这种堆焊工艺方法也大大节约了贵重的堆焊材料。

沈阀厂于 1967 年自己制做的土设备开始采用这种新工艺解决了一大批军工阀门密封面钴基合金堆焊的难题。现在沈阀厂有三台湖北广水设备厂生产的一人操作的自动化的钴基合金排丝等离子堆焊机堆焊钴基合金。这种焊机现在江苏无锡阳通焊机也生产全自动化的排丝等离子焊机。这种工艺方法非常适用于大中口径大批量堆焊钴基合金的阀门厂。

现在粉末等离子堆焊由于粉末制取过程必须加入使堆焊时铁水流动好、湿润好的高硬度的硼元素因而堆焊 $DN \geq 100$ 闸板、阀瓣容易出现裂纹, 因此使国内许多阀门厂粉末等离子堆焊工艺纷纷下马, 设备趴窝, 而钴基合金排丝

等离子新工艺方法应用推广具于上升的势头。

9. 2 排丝等离子堆焊优点

排丝等离子弧堆焊是利用等离子弧作为热源，将并列成排状的焊丝熔焊在阀件基体上的一种工艺方法，它与粉末等离子弧堆焊不同，它将所堆焊的钴基合金焊丝（HS111），根据所堆焊面的宽度，选择不同直径不同根数的焊丝用氩弧焊点焊好成排状，铺在堆焊母材面上，用等离子弧使其溶焊在基体上，所以它的溶深浅，它具有如下工艺优点。

9. 2. 1 由于采用等离子弧作为热源，所以具有熔深浅，堆焊金属稀释率低，焊道成型好。

9. 2. 2 使用设备简单，操作方便。在粉末等离子弧堆焊设备基础上，免去送粉机构装置，特别是不用结构复杂的送分式焊枪，而采用结构简单堆焊枪，因而简化了堆焊工艺。

9. 2. 3 排丝等离子弧堆焊可根据阀门密封面的使用要求，选择钴基合金或镍基合金焊丝做为填充材料。

9. 2. 4 排丝等离子弧堆焊的熔敷率高达 100%，是一般工艺方法不能比拟的，可以只堆焊一层，从而降低材料成本。

9. 2. 5 排丝等离子弧堆焊金属的抗裂性能好，由于这种方法使堆焊母材受热均匀，并且堆焊的焊丝

材料不必象粉末材料在制粉工艺过程需要提高堆焊金属的湿润性加入一定量硼硅元素从而提高堆焊金属的抗裂性。某厂采用这种工艺堆焊 DN400、DN500 不锈钢闸板焊前不进行预热，焊后不进行热处理均未产生裂纹。在碳钢平板闸阀的 DN800 的闸板也行之有效。

9. 2. 6 排丝等离子弧堆焊时，需要用手时刻适当调整铺在焊道上排丝的角度，使其适应阀门密封面圆

型堆焊轨迹，这一点还不能实现自动化送丝。但是现在焊机厂生产的设备也可以实现一个人操作整个工艺过程。

9. 3 主要的堆焊工艺参数分析：

影响送丝等离子弧堆焊质量的主要工艺参数有：转移弧电流和电压、离子气和保护气的流量，喷嘴距焊丝表面的距离、堆焊速度、电流衰减等。它们作用是：

9. 3. 1 转移弧电流。电流过小堆焊金属与母材料得不到良好的冶金结合，电流过大母材熔深太大，堆焊合金成分下降。生产实际中，根据堆焊工件大小，

结构尺寸不同，电流分别 **120-250A** 之间。

9. 3. 2 转移弧电压

转移弧电压过低,电弧软弱无力,穿透力小,易形成未焊透,电流不变,电压增加电弧热功率增大,穿透力增大,容易在熄弧处出现应力裂纹。在焊接过程中，一般常在主电路中串联电阻来降低电压。选用 **20-24V** 电弧工作电压,能保证得到良好的堆焊质量。

9. 3. 3 离子气和保护气

离子气一般选择 **400-500L/h** 能得到满意的效果,保护气在生产实际中一般选择 **750-850L/H**,能得到满意的堆焊质量。

9. 3. 4 喷嘴距离焊丝表面距离

喷嘴与焊丝表面距离应选择较小为宜，一般选 **3-5mm**。

9. 3. 5 堆焊速度

堆焊速度要与工件大小，电弧功率相适应。因此在实际工作中，要根据焊道宽度和电弧电流合理选择堆焊速度。

9. 3. 6 电流衰减

电弧衰减在生产实际中，常在堆焊一圈接头前，先增加 **20A** 电流，再适当拉长电弧（即提高焊枪 **3-5mm**）然后衰减，衰减时间，根据焊道宽度一般选择 **15-30** 秒，整个衰减过程可采用自动或手动两种方式控制。

9. 4 典型产品堆焊实例

9. 4. 1 焊前准备

9. 4. 1. 1 将经过粗加工的待堆焊面，用工业酒精或丙酮除去油污。

9. 4. 1. 2 根据密封面设计宽度和厚度的要求，选择适当焊丝直径和根数，用氩弧焊或气焊把多根焊丝点焊成排状。

9. 4. 1. 3 接通电源，水路、调整离子气，保护气流量，点燃高频检查和调整钨极对中度。

9. 4. 1. 4 根据排状焊丝的宽度，确定摆幅，根据堆焊速度调整适宜的摆动频率。

9. 4. 1. 5 堆焊工件在焊前和焊后不必进行预热，保温缓冷等工艺措施。

9. 4. 2 表 37 是某厂采用排丝等离子堆焊钴基合金的工艺参数，可供参考。

排丝等离子堆焊工艺参数

表 3 7

产品	型号	Z41W216R	Z41Y-40P	Z41Y-40P	Z41Y-64I
	部件规格	DN300 闸板	DN500 阀座	DN500 闸板	DN400 闸板

	母材	Cr18Ni12Mo2Ti	1Cr18Ni9Ti	1Cr18Ni9Ti	Cr5Mo
焊丝	牌号	HS111	HS111	HS111	HS111
	直径 (mm)	4.7	4.7	4.7	4.7
	并列根数	6	5	7	7
转移弧	电压 (V)	20-22	20-22	22-24	22-24
	电流 (A)	210-230	200-220	260-270	250-260
氩气	离子气 (L / h)	400	400	450	400
	保护气 (L / h)	800	750	850	850
摆动	频率 (次 / min)	40	50	35	35
	幅度 (min)	30	25	35	35
转台速度 (min/r)		6	5.5	8	7
喷嘴距焊丝距离 (mm)		4	3	4	4
焊后	高 (mm)	4	4	4	4
焊层	宽 (mm)	32	28	38	38

关于《阀门钴基合金等离子排丝堆焊》详见 1969 年 No9《焊接》杂志

10 焊接工艺文件、焊接工艺评定和 API 认证验收应注意的几个问题

10.1 焊接工艺文件编写

10.1.1 可以按不同钢种编写堆焊工艺规程，如碳钢和合金钢各编一份堆焊工艺规程这样做只有两种堆焊工艺规程；也可按不同堆焊工艺方法不同堆焊材料编写堆焊工艺规程，这样碳钢、合金钢件堆焊就不一定只有两个堆焊工艺规程。例如碳钢阀件采用手工堆焊和自动堆焊都要分别编写不同的堆焊工艺规程。又例如同样是合金钢阀件既可以堆焊钴基合金，也可能堆焊 SF-5T 合金。所以同一类母材堆焊就要编写两种堆焊工艺规程。

堆焊工艺规程中一定要标明堆焊层数，如焊条堆焊一定要堆焊 2-3 层，保证加工高度为 2-2.5mm，如采用自动堆焊和等离子工艺方法只要求堆焊一层，因为焊层加工高低不影响硬度。此外堆焊工艺规程应明确标明堆焊材料烘干温度和时间，保证堆焊时不出气孔。

10.1.2 关于铸件补焊工艺规程比较简单，碳钢阀门要编写一份补焊工艺规程，其它型号的合金钢铸件可以编一个补焊工艺规程。因此补焊工艺规程只有两个。

碳钢和不锈钢铸件在退火和固溶处理前补焊面积不受限制，而在热处理以后的阀体、阀盖、闸板件在补焊面积和深度以及补焊次数要有明确的规定。**WCB** 碳钢体、盖、门的补焊焊条不能用 **J422** 焊条，而要用高一档次的 **J502** 焊条。各种补焊焊条要与铸件材质相同，并且要标明焊条使用前的烘干温度保证补焊后不再出现气孔。**1983ASME** 锅炉压力容器规范制造和安装 **ND430** 材料修补有补焊面积规定。

10. 1. 3 《焊接工艺评定》不是全部产品都做焊接工艺评定，而是对一些焊接、补焊、堆焊难度较大的少数产品，例如从未干过的产品、钢种，工艺方法没有把握焊好的少数产品进行焊接工艺评定。堆焊件焊接工艺评定比较简单只检查堆焊合金成分和硬度，而对铸件补焊的工艺评定比较麻烦，这时要做机械性能试验。

补焊是属于单面焊，所做的弯曲试验片本应做单面焊的弯曲试件，单面焊的弯曲试验片正面弯曲角、背面弯曲角，按中国 **JB1152-88**《中国锅炉压力容器焊工考试规则》规定碳钢、不锈钢的弯曲角 **90** 度合格，而 **API** 验收的韩国高锡吉先生一定要求满足 **180** 度才算合格。

所以在制备弯曲试片时，必须脱离单面补焊的实际条件，违心地做出双面焊的弯曲试验片，碳钢、不锈钢的补焊弯曲角才能达到 **180** 度。这一点美国的《**ASME** 锅炉及压力容器规范一部国际性规范 **1998** 年(含 **A99** 卷九焊接和钎焊的评定)》没有详细说明，容易与 **API** 验收师高锡吉先生扯皮，韩国另一位验收师不过问此事。请各阀门厂 **API** 复查验收时注意。

10. 2 我的建议和希望

10. 2. 1 要加强软件建设的目的

编制任何焊接工艺文件都要和焊工结合，技术人员要给焊工以具体帮助，使焊工尽快提高技术理论水平，这有利于各工艺文件的贯彻执行，增强焊接工人和技术人员的团结和友谊。

10. 2. 2 要加强硬件建设的目的

要结合具体情况改进焊接、堆焊、补焊场地的硬件建设和投入，比如焊接、堆焊场地应有带电流、电压表的直流焊机、转胎、变位器、通风排尘装置；一定

要有一台预热工件、回火缓冷 600℃和烘干焊条 500℃两用回火烘干炉。在苏州吴江电热电器厂可以定做外型尺寸 1400 高 X1500 宽 X1200 厚不锈钢炉衬很经济实惠的炉子。

10. 3 各阀门制造厂如使用以下几种材料可以提供以下工艺资料

1. SF-3T (85 号合金) 焊条碳钢阀门手工堆焊工艺资料中温中压阀门
2. SF-4T (137 号) 焊条碳钢阀门手工堆焊工艺资料中温高压阀门
3. SF-5T 高温耐腐蚀焊条堆焊工艺资料 (取代钴基合金材料)
4. SF-3J (85 号合金) 焊剂碳钢阀门自动堆焊工艺资料 (取代手工堆焊)
5. 碳钢阀件补焊工艺资料
6. 合金阀件补焊工艺资料

10. 4 提供 9 份学术报告供选择材料工艺时参考

《采用 2Cr13 合金堆焊的闸阀密封寿命试验小结》(建议不要用这种材料)
《Cr-Mn 阀门密封面堆焊合金的研究》(SF-3T 焊条和 SF-3J 自动焊剂) 建议用于 $T \leq 450^\circ\text{C}$ 中温中压碳钢阀门堆焊

137 号合金阀门自动堆焊焊剂 (SF-4J) 和手工堆焊焊条 (SF-4T) 建议用于 $T \leq 450^\circ\text{C}$ 中温高压碳钢阀门堆焊, 两份论文报告。

《高温耐腐蚀阀门密封面堆焊合金 SF-5T 的研究及应用》建议用于 $T \leq 500^\circ\text{C}$ 中高温、中高压、酸、碱、盐阀门密封面堆焊。

《SF-5T 用于抗环烷酸腐蚀阀门堆焊的研究》

《1992 年-1999 年堆焊 SF-5T 产品型号规格及价格明细表》

《代 HS111 钴基合金电站阀门密封面堆焊合金的研究及应用》建议只用于高温高压的电站阀门

《阀门钴基硬质合金等离子送丝堆焊》《焊接》1969 年 No5 建议为了解决排丝等离子堆焊参考材料。

11 三种高端镍基合金的阀门堆焊应用

11. 1 钴基合金和镍基合金的简单对比

11. 1. 1 镍基合金的不同的种类

11. 1. 2 三种镍基合金成分、牌号适用范围相当于中国牌号及产地

钴基合金就是含钴超过 50%。我国阀门厂使用较多，它的抗高温高压性能的确很好，而对一些特殊介质的抗腐蚀性并不理想。比如它对含环烷酸石油的高温腐蚀，对含 H₂S 的天然气的抗 H₂S 的应力腐蚀就不如 SF-5T 堆焊合金好，它的抗低温腐蚀性能也不佳。

三种镍基合金含镍都超过 50%，Monel、Inconel 不但高温性能好，在低温-196℃也有良好的抗腐蚀性；Hactelloy 合金在 825℃抗腐蚀性仍然很好，这三种合金抗腐蚀的介质与钴基合金有明显的不同，三种高端阀门堆焊合金成分和用途，相当于中国焊接牌号详见表 38

三种镍基合金成分、牌号适用范围相当于中国牌号 表 3 8

合金外国 名称	合金成分（%）						用途	相当于中国焊条 牌号
	Cu	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe		
Monel,400 (Ni-Cu)	31.5	≤ 4.0	-	66.5	—	≤ 2.5	氢氟酸、碱盐、 海水 -196~580℃	Ni-207 焊条或 裸焊丝
Inconel=601 (Ni-Cr-Fe)	-	-	23	60.5	9.0	14.1	碱、盐、海水 氯化物 -250~705℃	Ni-307 焊条或裸 焊丝
Hactelloy-B C (Ni-Mo-Cr)	-	-	15-17	余	16-18	≤ 7.0	盐酸、氢卤酸 氯化物≤ 8 2 5℃	N 307A 焊条或裸 焊丝

产地：Ni207、Ni307、Ni307A 焊条哈尔滨焊接研究所供货。Monel、Inconel、Hactelloy 都市 B、C

三种材料裸焊丝和焊条江苏省张家港中洲特种合金材料有限公司也供货。

11. 2 三种镍基合金堆焊应注意事项

11. 2. 1 三种合金采用焊条堆焊时都采用直流反接，工件接负、焊条接正极。焊条焊前要烘干好焊条。

11. 2. 2 三种材料采用氩弧焊堆焊采用直流正接，工件接正极。

11. 2. 3 出现裂纹改进措施之一，堆焊过渡层。

11. 2. 4 出现裂纹改进措施之二，预热工件

12 应该推广三项高效、经济实惠的工艺方法

12. 1 阀门密封面采用埋弧自动堆焊目的

这种自动堆焊工艺认证工作方法最适合碳钢阀门大中型阀件大批量生产厂家，目前国内还没有供应阀门自动堆焊专用设备，市面供货的埋弧自动焊机都是焊接直焊缝。阀门厂买来自动焊机要自做堆焊园环的转胎和自动焊机升降的回转机构。阀门件的自动动堆焊比手工焊条效率提高 3-6 倍，是一种效率高、质量好经济性好，行之有效的工艺方法。

12. 2 大中型不锈钢冒口的振动切割法：

一般不锈钢大型阀件冒口都采用电焊条切割，切口质量不齐，效率低费时费电，振动切割法就是用一般氧乙炔切割炬在火焰的切割过程中割把作前进方向的上下摆动就可以把冒口切下来。这种切割法越切割大件越快，不需要任何新投资，所有大中型不锈钢阀件冒口都可以采用这种切割方法切割。详见表 39、图 19、图 20。无锡锡山阀门厂已经推广这种方法。

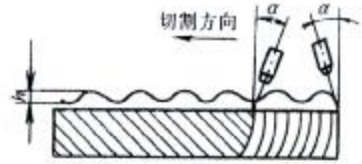
振动切割操作要点 表 39		
项 目	操 作 要 点	
	不 锈 钢	铸 铁
振动和摆动方式		
振幅 h /mm	10—15	8—16
摆动频率/(次/min)	约 80	约 60
预热温度	预热至表面熔化	
切割工艺参数	预热火焰用中性焰，与切割碳钢比较，火焰功率稍大，切割氧压力约高 15%—20%	
可切割厚度/mm	至 300	至 100



图 19 切割工人正在进行不锈钢冒口的振动切割

12. 3 空气碳弧气刨技术操作法

用镀铜皮碳棒，采用大功率的直流电焊机做电源，在碳棒与工件之间产生的电弧将金属熔化，并用压缩空气将其吹掉，实现在铸件金属表面加工出平面或沟槽的工艺方法，广泛用于铸件清理车间。

一般用镀铜皮的园碳棒开焊缝坡口，清除不锈钢铸件缺陷（如裂纹、砂眼、气孔等）可进行挖刨、劈缝、刨槽，然后补焊，清量铸件毛边、飞刺、切割不锈钢小件冒口等）。



图 20 振动切割的不锈钢冒口，尺寸 400X200mm

一些阀门厂往往用镀铜皮的扁碳棒片刨铸件冒口根部多余的部分，最大限度地减少加工余量，是行之有效的工艺方法，锡山阀门厂学习沈阀厂经验已将这种工艺方法推广于清理车间，而且设立专门的工位，由专人操作。是该厂不可缺少的一种操作工艺方法，应该强调是采用大功率直流电源，适用范围广、长期使用设备安全可靠。

13 结束语

13. 1 几十年的工作中我认为研究成果必须尽快行成生产力，为生产服务。我们这些科研成果不仅是沈阀厂成果，也是整个阀门行业共同财富。过去我在这方面做的不够，没有积极办理生产许可证手续，是我今天感到不足地方。

13. 2 我不否认自己有一些经验，我的许多经验是经过付出辛勤汗水和多次失败后取得的。我已经是七十多岁的老人，我多么希望离开这个世界前把我有用的经验和教训留给后来的朋友们。

13. 3 我以上介绍内容不一定正确，仅供各位参考，欢迎批评指正。

高高工在永嘉县科技中心的讲课报道见以下网址

<http://www.chinavalve.com/cn/NewsShow.asp?ArticleID=127>