

ASME 规范低温用钢材料指南

中国石化集团南化公司化工机械厂 陈寿万副总工程师

中国石化集团南化公司化工机械厂 朱胜民工程师

近年来, ASME 规范材料的国产化进程已取得较大的进步, ASME 规范材料在我国压力容器领域的应用也较普遍, 为了使压力容器制造单位对 ASME 规范低温用钢(板、管、锻件、紧固件)材料的了解和使用, 本文对下述 ASME 规范低温材料做概要性介绍, 以便 ASME 持证厂和希望了解 ASME 材料的工厂准确使用这些材料标准。

一、板材

SA-203/SA-203M (与 ASTM A203/A203M-96 完全等同) 压力容器用低温钢板

1、热处理要求

1) Gr.A,Gr.B,Gr.D&Gr.E 正火

2) 如采购方同意(批准), Gr.A,Gr.B,Gr.D&Gr.E 允许冷却速度比空冷更快, 以改善韧性, 条件是紧跟着回火温度应不低于 595℃, 保持时间不短于 1/2 小时。

3) 所有 Gr.F 钢板, 应加热到奥氏体范围, 水淬, 回火温度 $\geq 595^{\circ}\text{C}$, 保持时间不少于 1/2 小时。

2、化学成份(%) (熔炼成份)

元 素		Gr.A	Gr.B	Gr.D	Gr.E&Gr.F
C Max	$\delta \leq 50\text{mm}$	0.17	0.21	0.17	0.20
	$50 < \delta \leq 100\text{mm}$	0.20	0.24	0.20	0.23
	$\delta > 100\text{mm}$	0.23	0.25	...	...
Mn	$\delta < 50\text{mm}$	0.70	0.70	0.70	0.70
	$\delta > 50\text{mm}$	0.80	0.80	0.80	0.80
P		0.035	0.035	0.035	0.035
S		0.035	0.035	0.035	0.035
Si		0.15~0.40	0.15~0.40	0.15~0.40	0.15~0.40
Ni		2.10~2.50	2.10~2.50	3.25~3.75	3.25~3.75

3、力学性能

项目名称	Gr.A&Gr.D Mpa	Gr.B&Gr.E Mpa	Gr.F Mpa
拉伸强度			
≤50 mm	450~585	485~620	550~690
>50 mm	450~585	485~620	515~655
屈服强度			
≤50	255	275	380
>50	255	275	345
延伸率			
in 200 mm min (%)	19	17	...
in 50 mm min (%)	23	21	20

4、冲击试验要求

引用 SA-20 表 A2.15

夏比 V 形缺口吸收能量值

类 别	三个试样 平均值 J min	单个试样 最小值 J	各种板厚的试验温度 (°C) (除非另有协议)			
			≤25mm	>25~50mm	>50~75mm	>75~125mm
SA-203 Gr. A	18	14	-68	-68	-68	...
SA-203 Gr. B	20	16	-68	-68	-60	...
SA-203 Gr. D	18	14	-101	-101	-87	...
SA-203 Gr. E	20	16	-101	-101	-87	...
SA-203 Gr. F	27	20	-107	-107	...	...

2) SA-537/SA-537M (与 ASTM A537/537M-96 等同) 压力容器用经热处理的碳锰硅钢板

1、热处理状态:

Cl.1 板正火处理, Cl.2&Cl.3 板淬火+回火;

Cl.2 板回火温度≥595°C, 保温时间不少于 1/2 小时;

Cl.3 板回火温度≥620°C, 保温时间不少于 1/2 小时。

2、 化学成份要求 (熔炼成份) (%)

元 素		成 份	元 素		成 份
C max		0.24	Si		0.15~0.50
Mn	≤40 mm	0.70~1.35	Cu max		0.35
	>40 mm	1.00~1.60	Ni max		0.25
P max		0.035	Cr max		0.25
S max		0.035	Mo max		0.08

注: 如果熔炼分析的碳当量按下式计算值不超过 0.57, Mn 的熔炼分析成份可以超过 1.35% 到最大值 1.60%, Ni 熔炼分析值可以超过 0.25% 到最大值 0.50%。

$$C_E = C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

如果采用以上内容, Mn 和 Ni 的成品分析含量分别不应超过其熔炼成份的 0.12% 和 0.03%。

3、力学性能

拉伸强度 Mpa	Cl.1	Cl.2	Cl.3
≤65 mm	485~620	550~690	550~690
>65~100 mm	450~585	515~655	515~655
>100~150 mm	...	485~620	485~620
屈服强度 Mpa			
≤65 mm	345	415	380
>65~100 mm	310	380	345
>100~150 mm	...	315	275
延伸率 %			
in 50 mm	22	22	22
in 200 mm	18	20	20

4、冲击试验要求

根据 SA-20 要求, 除非供需双方另有协议, 冲击试验温度及冲击功按以下要求:

类 别	三个试样 平均值	单个 最小值	各种板厚的试验温度 (°C)			
			≤25mm	>25~50	>50~75	>75~125
SA-537 Cl.1 (>64~100 mm)	18	14	...	...	-60	-46
Cl.1(≤64mm)	20	16	-62	-60	-60	...
Cl.2(>64~100)	27	20	...	...	-60	-46
Cl.2(≤64mm)	27	20	-68	-68	-68	...

SA-662/SA-662M (与 ASTM A662/A662M-93 完全等同) 中低温态

专用碳锰钢板

1、热处理状态

1) 所有 Gr.A 钢板及 1.5" 以上其它 B, C 类钢板应正火。

2) 厚度 $<1\frac{1}{2}$ "的 B、C 类钢板通常以轧制状态交货, 也可以正火, 消应力处理或正火加消应力处理供应。

2、化学成分 (%)

类 别	C	Mn	P	S	Si
Gr.A	≤ 0.14	0.9~1.35	≤ 0.035	≤ 0.040	0.15~0.40
Gr.B	≤ 0.19	0.85~1.50	≤ 0.035	≤ 0.040	0.15~0.40
Gr.C	≤ 0.20	1.00~1.60	≤ 0.035	≤ 0.040	0.15~0.50

注: 未规定元素按 SA-20。

3、力学性能

类 别	σ_b Mpa	σ_s Mpa	E %
Gr.A	400~546	≥ 275	≥ 20 (8 in); ≥ 23 (2 in)
Gr.B	450~585	≥ 275	≥ 20 (8 in); ≥ 23 (2 in)
Gr.C	485~620	≥ 295	≥ 18 (8 in); ≥ 22 (2 in)

4、冲击试验要求

按 SA-20 要求, 除非供需双方另有协议, 冲击功按以下要求:

类 别	三个试样 平均值	单个 最小值	各种板厚的试验温度 (°C)			
			$\leq 25\text{mm}$	$>25\sim 50$	$>50\sim 75$	$>75\sim 125$
Gr.A	18	14	-60	-60	...	...
Gr.B	18	14	-51	-51	...	...
Gr.C	20	16	-46	-46	...	...

四、SA-516 SA-516M (与 SA174 A516/A516M-90 完全等同, 本低温用

压力容器用钢)

1、热处理要求:

1) 1.5 英寸以下钢板热轧供货, 或按订货要求正火, 或应力消除或正火+应力消除。

2) 1.5 英寸以上正火。

3) 40mm 以下板当要求缺口韧性时, 除供需另有协议外应正火交货。

2、化学成分 (%) (炉前分析)

元 素		Gr.55	Gr.60	Gr.65	Gr.70
C Max	$\delta \leq 12.5\text{mm}$	0.18	0.21	0.24	0.27
	$>12.5 \sim 50\text{ mm}$	0.20	0.23	0.26	0.28
	$>50 \sim 100\text{mm}$	0.22	0.25	0.28	0.30
	$>100 \sim 200\text{mm}$	0.24	0.27	0.29	0.31
	$\delta > 200\text{mm}$	0.26	0.27	0.29	0.31
Mn	$\delta \leq 12.5\text{mm}$	0.60~0.90	0.60	0.85~1.20	0.85~1.20
	$\delta > 12.5\text{mm}$	0.60~1.20	0.85~1.20	0.85~1.20	0.85~1.20
Pmax		0.035	0.035	0.035	0.035
Smax		0.035	0.035	0.035	0.035
Si		0.15~0.40	0.15~0.40	0.15~0.40	0.15~0.40

3、力学性能

项目名称	Gr.55	Gr.60	Gr.65	Gr.70
拉伸强度 Mpa	380~515	415~550	450~585	485~620
屈服强度 Mpa	205	220	240	260
延伸率 (%)				
in 200 mm	23	21	19	17
in 50 mm	27	25	23	21

4、冲击试验要求

按 SA-20 要求, 除供需双方另有协议, 冲击试验温度及冲击功按以下要求:

类 别	三个试样 平均植	单个 最小值	各种板厚的试验温度 (°C)			
			$\leq 25\text{mm}$	$>25 \sim 50$	$>50 \sim 75$	$>75 \sim 125$
Gr.55	18	14	-51	-51	-46	-46
Gr.60	18	14	-51	-46	-46	-46
Gr.65	18	14	-51	-46	-40	-32
Gr.70	20	16	-46	-40	-35	-29

二、钢管 (PIPE)

一) SA-333/SA-333M (与 ASTM A333/A333M-94 完全相同) 低温用无
缝碳钢管

1、热处理要求:

1) 除 Gr. 8 外

a. 正火+空冷或在控制气氛炉的冷却室内冷却（均热至 815℃ 以上）

b. 正火+回火（正火温度同上，回火温度钢厂自定）

c. 加热至 845~945℃，然后在初始温度不低于 845℃ 控制气氛炉内冷却，仅适于无缝管。

d. 按 C 处理并回火（钢厂自定回火温度）

e. Gr. 1, 6 和 10 的无缝管均匀加热至 815℃ 以上，然后在流体中淬火，再回火。

2) Gr. 8 的情况:

a. 淬火+回火 800±15℃ 保温至少 1h/in(2min/mm), 但不少于 15min, 然后在循环水中淬火。重新加热至 565~605℃ 保温 1h/in, (2 min/mm) 但不少于 15min, 然后空冷。

b. 二次正火+回火

加热至 900±15℃，保温时间同 a), 后空冷，将钢管重新均热至 790±15℃，保温（同上）再空冷。重新加热至 560~605℃，（保温同上）空冷。

2、化学成分 (%)

元素	Gr. 1	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 6	Gr. 7	Gr. 8	Gr. 9	Gr. 10
C≤	0.30	0.19	0.12	0.30	0.19	0.13	0.20	0.20
Mn	0.40~ 1.06	0.30~ 0.64	0.50~ 1.05	0.29~ 1.06	0.90 max	0.90 max	0.40~ 1.6	0.15~ 1.50
P≤	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.035
S≤	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.015
Si	...	0.18~ 0.37	0.08~ 0.37	0.1 min	0.13~ 0.32	0.13~ 0.32	...	0.10~ 0.35
Ni	...	0.18~ 3.82	0.47~ 0.96	...	0.03~ 2.57	8.40~ 9.60	0.6~ 2.24	0.25 max
Cr	...	...	0.44~ 1.01	...	...	...	0.75~ 1.25	0.15 max
Cu	...	...	0.40~ 0.75	...	...	...	...	0.16 max
Al	...	...	0.04~ 0.30	...	...	...	...	0.06 max
V≤	...	...	...	...	...	...	...	0.12
Nb	...	...	...	...	...	...	...	0.05
Mo	...	...	...	...	...	...	...	0.05

3、拉伸性能

Unit: (Mpa)

项 目	Gr.1	Gr.3	Gr.4	Gr.6	Gr.7	Gr.8	Gr.9	Gr.10
σ_{\min}	380	450	415	415	450	690	435	550
σ_{\min}	205	240	240	240	240	515	315	450

4、冲击试验温度

	冲击温度 (°C)							
类 别	Gr. 1	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 6	Gr. 7	Gr. 8	Gr. 9	Gr. 10
最低冲击温度	-45	-100	-100	-45	-75	-195	-75	-60

注: SA-334/SA-334M 低温用无缝或焊缝碳钢和合金钢管技术条件 (tubes) 从略

5、冲击试验功的要求:

试样尺寸 (mm)	1.3.4.6.7.9 和 10 类的钢的冲击要求	
	三个平均(J)	单个最小(J)
10*10	18	14
10*7.5	14	11
10*6.67	12	9
10*5	9	7

三、锻件

SA-350/SA-350M (与 ASTM A350/A350M 9.5b 完全等同) 要求供应热处理的管道元件用碳钢和低合金钢锻件

1、适用范围: 碳钢和低合金钢锻造或环形轧制法兰, 锻造管道配件及阀门。

2、热处理状态

a. LF787 类别钢锻件应以正火加沉淀硬化热处理, 或以淬火加沉淀硬化热处理状态供货。

a(1) 正火加沉淀硬化处理: 正火 870~940°C, 保温不少于 0.5 h, 回火 540~650°C, , 保温不少于 0.5h 。

a(2) 淬火加沉淀硬化处理: 淬火: 870~940°C, 液体淬火; 沉淀硬化:

540~665℃, 保温不少于 0.5 h。

b. 其余类别钢锻件:

b(1) 正火或

b(2) 正火加回火: 回火温度至少 590℃, 保温时间每 25mm 最大壁厚为 30 分钟, 最短不少于 30 分钟。或

b(3) 淬火加回火: 回火温度至少 590℃和下转变温度之间的某一温度, 保温时间每 25mm 最大壁厚为 30 分钟计算, 最短不少于 30 分钟。

3、化学成份

熔炼分析的成份见下表:

元素	级 别, 成 份 (%)						
	LF1	LF2	LF3	LF5	LF6	LF9	LF787
C _{max}	0.30	0.30	0.20	0.30	0.22	0.20	0.07
Mn	0.60~	0.60~	≤0.90	0.60~	1.15~	0.40~	0.40~
	1.35	1.35		1.35	1.50	1.06	0.70
P≤	0.035	0.035	0.035	0.025	0.025	0.035	0.025
S≤	0.040	0.040	0.040	0.025	0.025	0.040	0.025
Si	0.15~	0.15~	0.20~	0.15~	0.15~	...	≤0.40
	0.30	0.30	0.35	0.30	0.30		
Ni≤	0.40	0.40	3.25~	≤0.40	≤0.40	1.60~	0.70~
			3.75			2.24	1.00
Cr≤	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.60~ 0.90
Mo≤	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.15~ 0.25
Cu≤	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.75~ 1.25	1.0~ 1.30
Nb≤	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
V≤	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04~ 0.11	0.03	0.03
N	...	...	...	...	...	0.01~ 0.03	...

4、室温下的力学性能

项目 名称	LF1, LF5 Cl. 1	LF2	LF3, LF5 Cl. 2	LF6		LF9	LF787	
				Cl.1	Cl.2		Cl.2	Cl.3
抗拉强度 Mpa	415~ 585	485~ 655	485~65 5	455~63 0	515~69 0	435~ 605	450~ 585	575~ 655
屈服强度 Mpa	≥ 205	≥ 250	≥ 260	≥360	≥415	≥ 315	≥380	≥450
伸长率 (%)*	≥ 25	≥ 22	≥ 22	≥22	≥20	≥ 25	≥ 20	≥ 20
断面收 缩率(%)	≥38	≥30	≥35	≥40	≥40	≥38	≥45	≥45

*注：标准圆形试样或小尺寸比例试样 4D 标距长度

5、标准尺寸（10*10mm）试样的标准冲击试验温度

类别	试验温度, °C
LF1	-28.9
LF2	-45.6
LF3	-101.1
LF5 Cl.1 和 Cl.2	-59.4
LF6 Cl.1 和 Cl.2	-50
LF9	-73.3
LF787 Cl.2	-59
LF787 Cl.3	-73

6、标准尺寸试样却贝 V 缺口冲击能量要求

类 别	每组三个试样平均 min (J)	单个试样最小 (J)
LF1 和 LF9	18	14
LF2, LF3, LF5 的 Cl.1 和 Cl.2, LF787 的 Cl.2 和 Cl.3	20	16
LF6 Cl.1	20	16
LF6 Cl.2	27	20

四、螺栓材料

SA-320/SA-320M (与 ASTM A320/A320M-94a 完全等同) 低温用合金钢

螺栓材料

1、适用范围

适用于低温下压力容器，阀门、法兰及管配件的合金钢螺栓材料。

2、材料分类

本标准材料分为铁素体钢和奥氏体钢，奥氏体钢中经固熔处理的钢，称为 Cl.1 级，在产品完工状态下经固熔处理的，称为 Cl.1A 级，固熔+应变硬化处理的称为 Cl.2 级。

3、材料的热处理状态及力学性能

螺栓材料的热处理状态及力学性能见下表

级和类，直径		热处理	σ_b , Mpa ≥	σ_s , Mpa ≥	$\delta 4\%$ ≥	$\psi\%$	硬度 max
铁 素 体 钢							
L7, L7A L7B L7C L7O L71, L72, L73, ≤65		Q+T	860	725	16	50	...
L43	≤100	Q+T	860	725	16	50	...
	≤65	Q+T	690	550	18	50	235HB 或 99HRB
L1	≤25	Q+T	860	725	16	50	
奥 氏 体 钢							
Cl.1:B8,B8C,B8M,B8P, B8F,B8T,B8LN,B8MLN 所有直径		固熔	515	205	35	50	223HB 或 96HRB
Cl.1A:B8A,B8CA,B8M A,B8PA,B8FA,B8TA,B8 LNA,所有直径		固熔在精 加工后	515	205	35	50	192HB 或 90HRB
Cl.2:B8, B8C, B8F, B8T	≤20	固熔+应 变硬化	860	690	12	35	321HB 或 35HRB
	20~25		795	550	15	30	321HB 或 35HRB
	25~32		720	450	20	35	321HB 或 35HRB
	32~40		690	345	28	45	固熔+应力硬化
Cl.2:B8M	≤20	固熔+应 变硬化	760	655	15	45	321HB 或 35HRB
	20~25		690	550	20	45	321HB 或 35HRB
	25~32		655	450	25	45	321HB 或 35HRB
	32~40		620	345	30	45	固熔+应力硬化

注：1、为满足拉伸性能要求，布氏硬度应不小于 200HB 或 93HRB

2、直径 $\leq 20\text{mm}$ 时，允许最大硬度值为 241HB (100HRB)

4、推荐的铁素体钢冲击试验温度

类别	试验温度
L7M, L70, L71, L73	-73
L7, L7A, L7B, L7C	-100
L43	-101
L1	-73

5、铁素体钢冲击吸收能量要求:

试样尺寸 mm	三个试样平均最小 J	单个试样最小 J
除 L1 外, 所有类别		
10*10	27	20
10*7.5	22	16
L1		
10*10	54	41
10*7.5	44	32

6、与螺栓材料匹配的螺母材料

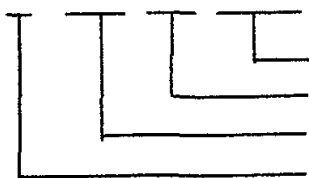
螺栓材料 A320/A320M	螺母材料 A194/A194M
L7, L7A, L7B, L7C, L43, L1, L70, L71, L72, L73	Gr.4 或 7
B8, B8C, B8T, B8P, B8F, B8M B8LN, B8MLN	Gr.8,8C,8T,8F,8M,8LN,8MLN

五、焊接材料

1. SPA5.5 低合金钢药皮焊条(用于 SMAW)

1.1 焊条标识举例

E XX XX-XXX



表示熔敷焊缝金属的化学成份,由一或多个字母组成
药皮类型+推荐的电流
最低拉伸强度*
表示焊条

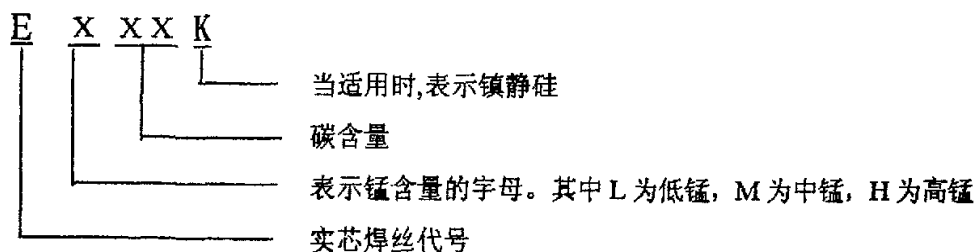
例如：E8016-G 其含义为最低拉伸强度 80000PSI,低氢钠型，0.5Mo, 适用全位置(平,立,横,仰)焊,交流或直流反极性。

E7016-C2L 其含义为最低拉伸强度 70000Psi, 低氢钠型，3.5Ni,适用于全位置焊,交流或直流反极性。

2. SFA5.23 低合金钢埋弧焊焊丝和焊剂

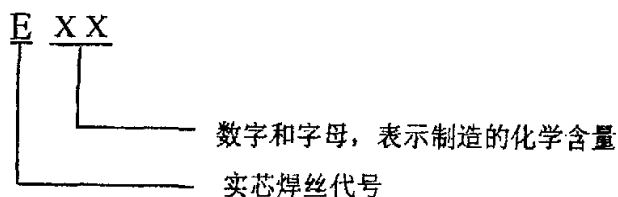
2.1 焊丝

2.1.1 仅适用于 EL12 和 EM12K 实芯焊丝



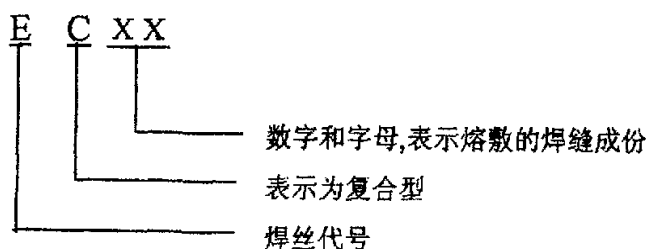
例：EM12K：中锰含量，含碳量 0.07~0.15%，镇静硅

2.1.2 除上述 1 以外的实芯焊丝



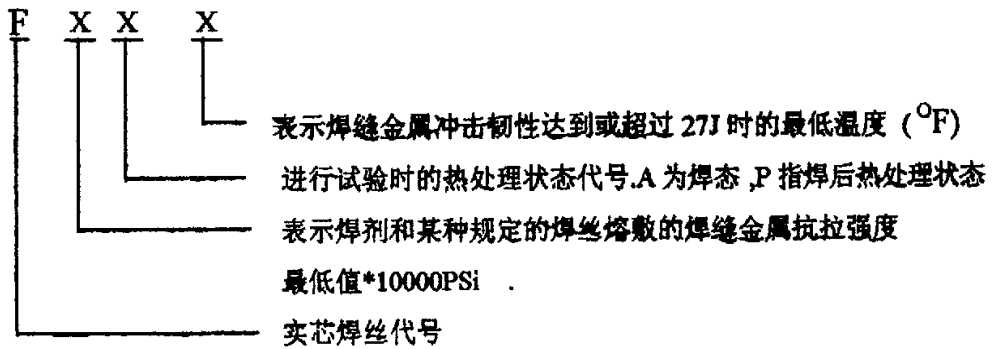
例如：EAl

2.1.3 复合焊丝



例如：ECAI

2.2 焊剂



2.3 焊剂与焊丝组合表示方法

例: F7P6/EM12K

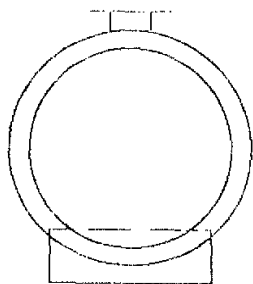
表示一种焊剂, 在本标准条件下, 用 EM12K 焊丝焊制的焊缝金属, 在焊后热处理状态下具有 70000Psi 抗拉强度和在 -60°F (-51°F) 下至少具有 27Jv 形缺口冲击韧性。焊缝金属的成份为 M12K。

中国机械工程学会压力容器学会
99年10月“低温压力容器的制造检验经验交流会”论文

1999年5月9日

题目:金属爆炸加工技术在低温压力容器制造领域里的应用

作者:王南海



单位:中国航天民品实业有限责任公司
通信地址:北京东城区和平里东街柏林寺西9号楼406信箱 王南海 (邮100013)
电话:(010)68006893、68373162、BP:68280088 呼10130
E-mail: wangnanhui@263.net

一、论 文 摘 要

作者在1992年中国机械工程学会压力容器学会第三届全国学术年会上发表的题目为《锥柱结构无模爆炸成形球型容器》一文,可以说是金属无模爆炸加工技术在容器制造领域里的典型应用。五年后在中国机械工程学会压力容器学会第四届全国学术年会上发表了《金属无模爆炸加工技术在容器制造领域里的应用》一文集近年的潜心研究的科研成果的总结。

在这里作者集再次向中国机械工程学会压力容器学会99年10月“低温压力容器的制造检验经验交流会”提交论文:《金属爆炸加工技术在低温压力容器制造领域里的应用》。

到目前为止,本人已经先后完成了十一项发明。这十一项技术发明如下:

1. 锥柱结构无模高能成形球型容器技术;
2. 高能法整体消除球、卧罐及管道的焊接应力技术;
3. 异种材料复合与球形容器无模高能成形同步完成技术;

4. 无模高能整体成形封头技术；
5. 无模高能整体成形桶形球、蛋壳球和雨滴球技术；
6. 无模高能整体成形翻转式蒸煮罐技术；
7. 无模整体成形超薄球类壳体技术；
8. 自增强容器研究与制造技术；
9. 无模高能整体成形罐式散装水泥集装箱技术；
10. 异种材料金属管无模高能贴合与复合技术；
11. 无模高能整体分步成形双层球型容器技术。

上述技术可以广泛应用于：

1. 各种常压、工、Ⅱ、Ⅲ类球形、桶球形、蛋壳形、雨滴形球类容器及其异种材料复合的容器无模高能成形同步完成的球类容器的生产制造。产品涉及各种液(气)体储罐如：造纸蒸球、蒸煮罐等；
2. 建筑用各种球类水塔、水箱和美术雕塑中使用的超薄球体；
3. 利用高能法对容器和管道进行整体应力消除及自增强处理；
4. 生产各种尺寸、规格和不同材质的液(气)体集装箱、粉沫及颗粒物体集装箱，以及散装水泥和多功能用途的专用罐式集装箱；
5. 生产制造贴合与复合的异种材料金属管
6. 采用“无模高能整体分步成形双层球型容器技术”生产制造低温压力容器。

与传统工艺技术相比，采用上述技术生产与采用传统工艺制造相同产品时新技术的生产成本仅为老工艺生产成本的几分之一到几十分之一，生产周期也大大的缩短。而且上述技术十分适合中小型金属结构厂和个体企业采用。所涉及的产品几乎囊括所有容器和管道制造行业的产品。

由于液氮、液氧以及液化天然气一类的低温介质具有：单位体积的容量最大、压力低安全可靠、适合长途储运和人口稠密的城镇使用，所以正日益广泛被采用（据介绍，英、美等国家已基本将液化气和天然气一类易燃易爆气体，规定只能在低温下使用，以确保安全）。

双层容器由于自身的结构特点，已经广泛地应用在低温容器制造上。例如，低温容器：液氮、液氧以及液化天然气低温储罐。他们共有的材料特点是，使用耐低温材料，将容器制造成双层结构，在双层金属容器中间填充珍珠岩一类的隔热材料，并将两层容器之间抽成真空状态，使其成为良好的隔热保温容器。可以说，使用耐低温材料生产双层容器是低温压力容器制造的一个关键技术。谁能将使用耐低温材料生产的双层容器生产成本降低，使其物美价廉，谁将赢得市场。

论文将从论文摘要、金属爆炸加工技术介绍、双层金属容器加工制造要点、新技术与传统技术的对比和在低温压力容器制造领域应用的前景，共五方面进行阐述。