



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101613829 B

(45) 授权公告日 2011.09.28

(21) 申请号 200910069758.X

C21D 8/10(2006.01)

(22) 申请日 2009.07.17

C21D 1/18(2006.01)

(73) 专利权人 天津钢管集团股份有限公司

C21D 1/60(2006.01)

地址 300301 天津市东丽区津塘公路 396 号

C21D 9/08(2006.01)

B21C 37/06(2006.01)

(72) 发明人 江勇 张传友 周家祥 宗卫兵  
贺爽城 周晓峰 史庆志 章华明  
刘江成 李效华

审查员 孙玉静

(74) 专利代理机构 天津才智专利商标代理有限公司 12108

代理人 吕志英

(51) Int. Cl.

C22C 38/24(2006.01)

C21C 5/54(2006.01)

C21C 7/10(2006.01)

C21C 7/076(2006.01)

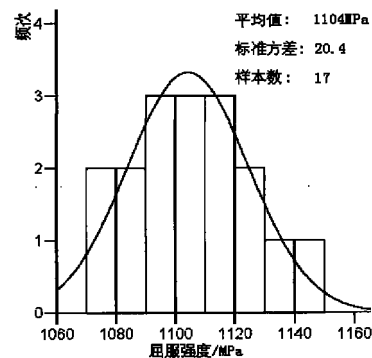
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法

(57) 摘要

本发明提供一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法,其成份的重量%为 C:0.22%~0.26%、Si:0.15%~0.35%、Mn:0.40%~0.60%、P≤0.010%、S≤0.005%、Cr:0.90%~1.10%、Mo:0.70%~0.80%、V:0.10%~0.15%,余量为 Fe。该种产品生产方法是采用废钢和海绵铁或铁水做炼钢原料,经电弧炉冶炼、炉外精炼和真空脱气后,连铸成圆坯,再经高精度热轧成无缝钢管后,进行淬火和回火热处理,最后制成中空光端无缝钢管。该产品达到的有益效果是该钢管具有良好的理化性能,可广泛应用于具有高致密性的岩石的油气井井下试油或者射孔、压裂等增产作业,150ksi 钢级的管体强度和与其匹配的韧性保证该种环境下整个井下作业系统安全性。



1. 一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管的生产方法,该方法包括以下步骤:

①炼钢

采用夹杂物元素含量低的优质废钢加海绵铁或铁水,配制钢级高强韧油气井井下作业用的钢管原料,使其在连铸前的钢水化学成分按重量%为 C:0.19%、Si:0.26%、Mn:0.51%、P:0.009%、S:0.003%、Ni:0.05%、Cr:0.98%、Mo:0.77%、Cu:0.08%、Al:0.029%、V:0.12%、Ca:0.0018%、余量为 Fe 和不可去除的痕量元素;运用电弧炉进行冶炼,通过向钢水中加入石灰造泡沫渣,充分吸附钢水中的有害元素 P、S;使用偏心炉底出钢,再采用钢包炉精炼、真空脱气、包芯丝喂丝处理,使长条状的 MnS 夹杂转变成 Ca 的球形复合夹杂物,进行炉外精炼;真空脱气时间 5~10 分钟,使钢水中的气体充分去除,最后进行连铸铸成钢坯;

②轧管

在环形炉中将上述铸成钢坯轧制的管坯进行加热,加热温度为 1260℃-1290℃,使用穿孔机穿孔,采用精轧控制轧制精度,通过限动芯棒连轧机轧制,再通过定径机或者张力减径机精确定径,在冷床上冷却后,锯切、冷矫直,然后将制出的钢管经过无损探伤和精整;

③热处理

上述轧态钢管在高温淬火加热炉中加热到 900℃~920℃保温并以工业循环水作为淬火液淬火,然后在回火加热炉中加热到 650℃~670℃并保温,进行高温回火,出回火炉后进行高温矫直,温度范围在 500~600℃;热处理后通过最后一道超声波无损探伤工序,接着进行定尺、喷标、涂漆,制成上述钢管;

上述方法制成的钢管力学性能为:

屈服强度:总延伸 0.2%,为 1034MPa,钢级 150ksi

抗拉强度 $\geq$ 1170MPa,延伸率 $\geq$ 15%

断面收缩率 $\geq$ 55%

0℃时横向半尺寸为 10×5×55mm 的夏比冲击吸收功为最小 36J,纵向尺寸为 10×7.5×55mm 的夏比冲击吸收功为最小 70J,剪切比均为 100%;

韧脆转变温度为 -30℃,管体截面全壁厚组织为 S<sub>□</sub>,平均硬度约为 HRC38.5。

## 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,由于全球经济迅猛发展,国际市场上油价起伏跌宕,能源需求缺口越来越大,各国的石油公司都在加大在世界各地的作业力度。射孔作业是油气开采过程中提高油气采收率的经济有效方式,被各大石油公司和作业服务公司广泛采用。这不仅导致全球的无缝钢管,主要是石油专用管,包括套管、油管、钻杆及附件等的需求的迅速增长,在以往作为小批量生产的射孔枪管的需求也同步地飞快地增长起来。

[0003] 射孔是石油勘探与开发系统工程中极其重要的一项技术,也是提高油气井采收率的重要手段之一,是油田重要的挖潜增油的一种典型方法。射孔完井是国内外广泛使用的一种完井方式,约占所有完井方法的井数的 90% 以上,几乎所有的油气储集层都可以用此方法打开。

[0004] 这种方法是指在油气田开发过程中,油层套管下入并封固井壁后将射孔专用仪器设备输送至井下预定深度,对准目的层引爆射孔器,聚能射孔弹被导爆索引爆后,爆轰波以 7000-8000 米/秒向前传播,产生高温、高压冲击波,从而穿透套管、水泥环进入地层,形成一个孔道,如图所示。无论哪一种射孔方法,射孔枪的性能及质量对油气井的射孔质量影响非常大。

[0005] 射孔枪用无缝钢管(以下简称射孔枪管)是制造射孔枪的主要原材料,不可回收重复利用,对其质量和性能要求很高,尤其是对其横向冲击韧性要求非常严格。根据检测管材冲击韧性的制样方法可以看到,横向冲击韧性体现了管材沿纵向方向开裂的倾向性。一般情况下,管材的强度越高时,其冲击韧性就越低,横向冲击韧性就更低,这是该类管材的薄弱环节。由于射孔作业一般在油层套管内进行,射孔枪管从规格上来说比较小(外径比较小),为增加枪身的穿透性,壁厚也不宜太大。这导致管材在制造工艺、精度控制、性能达标与否和检测方法及过程上难度也较大。

[0006] 通过查阅相关文献可以看到,国内各大油田所采用的射孔枪管的强度级别大多在 700 ~ 900MPa 之间,其冲击韧性(包括横纵向冲击吸收功)的要求也比较低,例如要求其最小屈服强度在 700MPa 时,0℃ 横向全尺寸冲击吸收功仅要求  $\geq 27\text{J}$ ,这一要求还是比较容易实现,这与 API 5CT 标准要求的 P110 套管非常接近。大多生产油田用石油套管的厂家很容易生产达到这个要求的产品。

[0007] 由于射孔枪管的强度等级决定了作业时的强度和效率级别,强度越高可以使作业的工具级别越高,单井的开发效率会越高。从油藏开发的整体上讲,通过这一途径可以降低开发成本。

[0008] 国外各大石油作业和技术服务公司相继提高该种管材的强度级别,同时提高冲击韧性的要求。例如国外某公司要求该种产品的最小屈服强度达到 850MPa 时,要求 0℃ 横向 2/3(10×6.7) 尺寸冲击吸收功仅要求  $\geq 56\text{J}$ ,0℃ 纵向 2/3(10×6.7) 尺寸冲击吸收功仅要

求  $\geq 90\text{J}$ 。

[0009] 从石油管材开发的趋势看,作为石油行业主要物资的套管,其强度级别要求越来越高,国内很多厂家已经开始供应 150ksi 级别的各种套管,都在储备开发 165/170ksi 级别的油套管产品。配套地,国内外油井井下作业用管的强度级别也在往这上面发展。

[0010] 但是,钢铁材料的一般规律显示了其强度和韧性呈现了此消彼长的趋势,其强度越高的情况下,韧性也很难得到改善。高强度级别钢铁材料的强韧性匹配问题一直以来是一个研究热点,对于无缝钢管产品来说,当其强度达到 150ksi (1034MPa) 钢级后,其强韧性匹配问题是一个世界级难题。

### 发明内容

[0011] 本发明是鉴于上述技术中存在的问题,本发明的目的在于提供一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法,从而解决 150ksi 钢级无缝钢管强韧性匹配难的技术难题,达到管体  $0^{\circ}\text{C}$  横向冲击半尺寸 ( $10\times 5\times 55\text{mm}$ ) 冲击吸收功  $\geq 36\text{J}$  的技术水平,保证作业过程中整个系统的安全性。

[0012] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案是提供一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法,该无缝钢管的化学成分按重量%为 :C :0.22%~0.26%、Si :0.15%~0.35%、Mn :0.40%~0.60%、 $P \leq 0.010\%$ 、 $S \leq 0.005\%$ 、Cr :0.90%~1.10%、Mo :0.70%~0.80%、V :0.10%~0.15%,余量为 Fe 和不可去除的痕量元素。

[0013] 还提供一种 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法。

[0014] 本发明的效果是采用以上成分和制作方法后制造的无缝钢管强韧性水平得到大幅提高,钢管具有良好的理化性能,满足作业安全性的要求,在高致密性岩石的油气井环境中可以安全使用。在其最小屈服强度达到 1034MPa 的前提下,其横向半尺寸 ( $10\times 5\times 55\text{mm}$ )  $0^{\circ}\text{C}$  冲击吸收功达到最低 36J,全尺寸 ( $10\times 10\times 55\text{mm}$ ) 冲击吸收功最低 66J;纵向 3/4 尺寸 ( $10\times 7.5\times 55\text{mm}$ )  $0^{\circ}\text{C}$  冲击吸收功达到 70J,全尺寸 ( $10\times 10\times 55\text{mm}$ ) 冲击吸收功最低 88J;韧脆转变温度为  $-30^{\circ}\text{C}$ 。

### 附图说明

[0015] 图 1(a) 至 (d) 为本发明的钢管强度和冲击韧性频次分布图。

### 具体实施方式

[0016] 结合附图及实施例对本发明的 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管及其生产方法加以说明。

[0017] 本发明的 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管,该作业用管的化学成分按重量%为 C :0.22%~0.26%、Si :0.15%~0.35%、Mn :0.40%~0.60%、 $P \leq 0.010\%$ 、 $S \leq 0.005\%$ 、Cr :0.90%~1.10%、Mo :0.70%~0.80%、V :0.10%~0.15%,余量为 Fe 和不可去除的痕量元素。

[0018] 制作 150ksi 钢级高强韧油气井井下作业用钢管的生产方法,该方法包括以下步骤:

[0019] ①炼钢

[0020] 采用夹杂物元素含量低的优质废钢加海绵铁或铁水,配制上述 150ksi 钢管的原料,运用电弧炉进行冶炼,通过向钢水中加入石灰造泡沫渣,充分吸附钢水中的有害元素 P、S;使用偏心炉底出钢,再采用钢包炉精炼、真空脱气、包芯丝喂丝处理,使长条状的 MnS 夹杂转变成 Ca 的球形复合夹杂物,进行炉外精炼;真空脱气时间 5 ~ 10 分钟,使钢水中的气体充分去除,最后进行连铸铸成钢坯;

[0021] ②轧管

[0022] 在环形炉中将上述铸成钢坯轧制的管坯进行加热,加热温度为 1260℃ -1290℃,使用穿孔机穿孔,采用精轧控制轧制精度,通过限动芯棒连轧机轧制,再通过定径机或者张力减径机精确定径,在冷床上冷却后,锯切、冷矫直,然后将制出的钢管经过无损探伤和精整;

[0023] ③热处理

[0024] 上述轧态钢管在高温淬火加热炉中加热到 900℃ ~ 920℃ 保温并以工业循环水作为淬火液淬火,然后在回火加热炉中加热到 650℃ ~ 670℃ 并保温,进行高温回火,出回火炉后进行高温矫直,温度范围在 500 ~ 600℃;热处理后通过最后一道超声波无损探伤工序,接着进行定尺、喷标、涂漆,制成上述钢管;

[0025] 上述制成的油气井井下作业用钢管力学性能为:

[0026] 屈服强度:总延伸 0.2%,为 1034MPa,钢级 150ksi

[0027] 抗拉强度  $\geq$  1170MPa,延伸率  $\geq$  15%

[0028] 断面收缩率  $\geq$  55%

[0029] 0℃ 时横向半尺寸 (10×5×55mm) 夏比冲击吸收功为最小 36J,纵向 3/4 (10×7.5×55mm) 尺寸夏比冲击吸收功为最小 70J,剪切比均为 100%;

[0030] 韧脆转变温度为 -30℃,管体截面全壁厚组织为 S<sub>□</sub>,平均硬度约为 HRC38.5。

[0031] 制造上述油气井井下作业用钢管的方法是这样实现的:

[0032] 1 炼钢

[0033] 采用夹杂物元素含量低的优质废钢,配制上述 150ksi 钢管的原料,运用超高功率电弧炉进行冶炼,通过向钢水中加入高活性度的石灰造泡沫渣,充分吸附钢水中的有害元素 P、S 等;使用偏心炉底出钢,再采用纯净钢技术,即钢包炉精炼、真空脱气及夹杂物控制技术,即包芯丝喂丝处理,进行炉外精炼。严格控制钢水化学成分,通过造泡沫白渣工艺,提纯钢水成分,并通过向钢水中喂入 Si-Ca 丝改变夹杂物形态,使长条状的 MnS 夹杂转变成 Ca 的球形复合夹杂物;然后进行真空脱气,确保高真空时间不小于 10 分钟,使钢水中的气体充分去除,最大限度地降低钢中气泡夹杂。最后进行连铸铸成钢坯,严格控制钢水过热度、拉坯速度和冷却水量。具体为:

[0034] a. 纯净钢技术

[0035] 90/150 吨超高功率电弧炉 (EAF) 偏心炉底出钢,减少温降和钢水二次氧化;留钢留渣,氧化渣难流入钢包。

[0036] 泡沫渣冶炼,钢包炉 (LF),采用 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 高碱度渣,加 CaC<sub>2</sub> 粒还原气氛强,包底吹氩气搅拌,埋弧加热,具有良好的脱氧、脱硫效果,减少夹杂物。

[0037] 提高精炼炉初渣碱度,调整渣料配比,提高炉渣吸附夹杂物能力。真空处理炉 (VD)

高真空度 70Pa 以下,包底吹氩保持 10 分钟以上,使钢中的氢含量脱到 2ppm 以下,而且氧、氮含量低,硫含量低,夹杂物上浮,使钢水洁净度提高。

[0038] 通过炼钢精炼工位精确控制钢水化学成分,使其在连铸前得到如下表所示化学成分:

[0039] 表 1 连铸前钢水化学成分实例

[0040]

炉号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	V	Ca
1	0.19	0.26	0.51	0.009	0.003	0.05	0.98	0.77	0.08	0.029	0.12	0.0018
2	0.20	0.28	0.52	0.007	0.002	0.03	0.99	0.78	0.06	0.025	0.12	0.0011
3	0.21	0.30	0.52	0.009	0.002	0.04	0.97	0.77	0.07	0.027	0.12	0.0009
4	0.20	0.27	0.52	0.006	0.002	0.03	0.97	0.77	0.07	0.030	0.12	0.0008
5	0.21	0.24	0.52	0.006	0.002	0.04	1.01	0.78	0.07	0.028	0.13	0.0012

[0041] b. 夹杂物控制技术

[0042] 包芯丝喂丝处理 (FW):通过向钢水喂入 Si-Ca 丝改变夹杂物形态,使长条状的 MnS 夹杂转变成 Ca 的球形复合夹杂物,从而改善钢的韧性、降低各向异性,从本质上提高钢的韧性和耐低温韧性。

[0043] 下表是轧制后按 ASTM E45 A 法夹杂物评级的结果实例:

[0044] 表 2 夹杂物评级实例

炉号	夹杂物 (级)							
	A 类		B 类		C 类		D 类	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
1	0.5	0	1.5	0	0	0	1.0	0
2	0	0	0.5	0	1.0	0	1.0	0
3	0.5	0	0	0	0.5	0	1.0	0

[0046] 管体冲击韧性直接影响了该成品管在承受高强度高速冲击载荷作用后管体的安全性,同时由于长条状硫化物夹杂物对冲击韧性存在明显的影响,所以本产品对 S 的含量要求很高,这通过后期 Si-Ca 丝的喂入来解决,同时通过喂入 Al 丝来控制脆性的  $Al_2O_3$  夹杂物。

[0047] c. 连铸技术

[0048] 连铸 (CCM) 采用带有 Ar 气密封的保护套管,中包覆盖剂,浸入式水口和结晶器保护渣的保护浇铸先进技术,使钢水和空气完全隔离,防止钢水在浇铸过程中的二次氧化。

[0049] 2 轧管

[0050] 在环形炉中将管坯加热,使用穿孔机穿孔,采用独特的精轧技术,严格控制轧制精

度,通过先进的限动芯棒连轧机轧制,再通过定径机精确定径,在冷床上冷却后,锯切、冷矫直,最后,将制出的钢管经过无损探伤和精整。具体为:

[0051] a. 精轧技术

[0052] 环型管坯加热炉的炉温采用计算机自动控制,精确控制管坯温度,保证管坯轧成管子后性能的稳定和尺寸精度。

[0053] 为保证壁厚的均匀和内外表面的质量,设有热定心及高压水除磷同时,设有荒管内表面喷硼砂。

[0054] 精轧成品孔型设计确保管子外径及壁厚精度。

[0055] b. 工艺控制

[0056] 环形炉加热温度为  $1260^{\circ}\text{C}$ ,并且保证管坯温度均匀。

[0057] 穿管机轧出的毛管壁厚偏差应在  $\pm 8\%$  以内,为轧制荒管和成品管创造了良好的前提条件。

[0058] 限动芯棒连轧管机避免“竹节”现象,除管端部,整根钢管壁厚不均不超过  $\pm 4\%$ 。

[0059] 定径机组保证钢管的外径和壁厚精度,钢管的外径偏差为  $0 \sim 1.0\% D$ 。矫直机组保证钢管弯曲度指标小于  $1.5\text{mm/m}$ 。

[0060] 3 钢管热处理和加工

[0061] 钢管在淬火加热炉中加热到  $910^{\circ}\text{C}$ ,使用水基淬火液淬火,淬火时保证淬火液在钢管内表面均匀旋转内喷;然后在回火加热炉中加热到  $660^{\circ}\text{C}$ ,进行高温回火。采用独特的消除残余应力技术,即采用高温定径和高温矫直,温度范围在  $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ;通过无损探伤,最后进行喷标、定尺、涂漆,制成成品钢管。

[0062] a. 热处理技术

[0063] 热处理生产线通过精确控制淬火炉和回火炉温度对套管进行调质处理以保证钢管的性能。同时,产品管体上最终组织为回火索氏体,保证其具有优良的力学性能。

[0064] 热处理工艺参数:  $910^{\circ}\text{C}$  以上水淬火 +  $650^{\circ}\text{C}$  高温回火,淬火时保证淬火液在钢管内表面均匀旋转内喷,外表面足量循环水外淋。

[0065] b. 消除残余应力技术

[0066] 采用高温定径和高温矫直的工艺技术,不但保证了钢管的外径及圆度的精度,而且是控制其低残余应力的关键。这一过程是靠高温回火后快速出炉的办法来实现,管体的高 V 含量促使其回火的温度可以较高,这保证钢管出回火炉后进入矫直机的温度比较高。

[0067] 热矫直温度  $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$ ,如热矫直低于  $500^{\circ}\text{C}$  则考虑去应力退火,去应力退火温度  $500^{\circ}\text{C}$ 。

[0068] 超声波探伤:探伤前,用样管离线校验三次,在线校验三次。人工缺陷代号 N5。

[0069] 管体力学性能检测后统计得到如下表 3 力学性能实例:

[0070] 表 3 热处理生产后理化检测结果实例

炉号	抗拉强度 MPa	屈服强度 MPa	延伸率 %	冲击功/0℃				平均硬度 HRC
				横冲		纵冲		
				尺寸	值/J	尺寸	值/J	
1	1162	1082	20	1/2	46	3/4	92	38.8
	1155	1077	22	1/2	46	3/4	93	38.8
2	1159	1071	20	1/2	52	3/4	101	38.1
	1163	1098	19	1/2	51	3/4	97	39.0
3	1166	1104	19	1/2	55	3/4	92	38.5
	1185	1121	18	1/2	51	3/4	93	38.7
4	1188	1131	19	1/2	55	3/4	89	38.6
	1178	1084	18	1/2	52	3/4	89	39.5
5	1212	1148	18	1/2	53	3/4	89	39.6
	1197	1132	18	1/2	53	3/4	87	38.9

[0072] 统计已有生产性能检测数据得到如图 1(a) 至图 1(d) 所示的管材强度和冲击韧性频次分布图,可以看出,该产品的屈服强度以 1088 ~ 1122MPa 区间的值为主,平均在 1104MPa,远在 150ksi(1034MPa) 之上,而且分布比较均匀;抗拉强度平均在 1173MPa,在 1160 ~ 1170MPa 区间内居多;屈强比基本在 95%,说明材质基本达到强度极限,充分发挥了合金元素的强化作用;另外,同小样热处理实验结果所显示的一样,在钢种相同,成份控制的差异很小的情况下,横向冲击功提高到以 52 ~ 54J 区间内的值居多,平均在 52J;纵向冲击功平均在 99J,以 105 ~ 110J 区间内分布的居多。



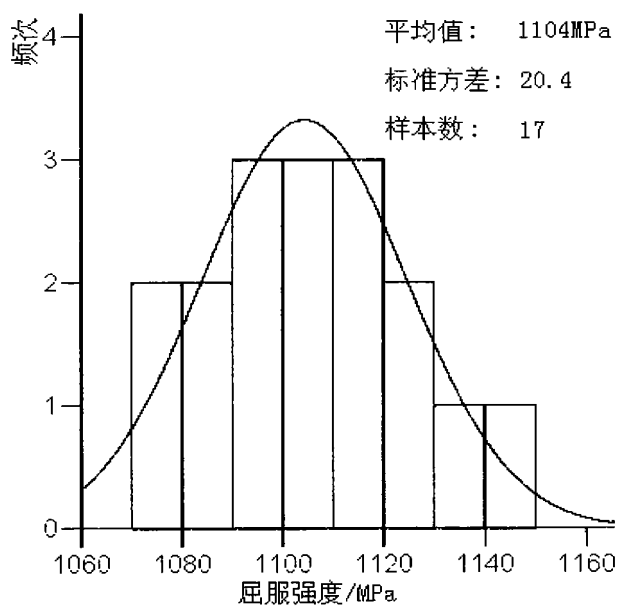


图 1(a)

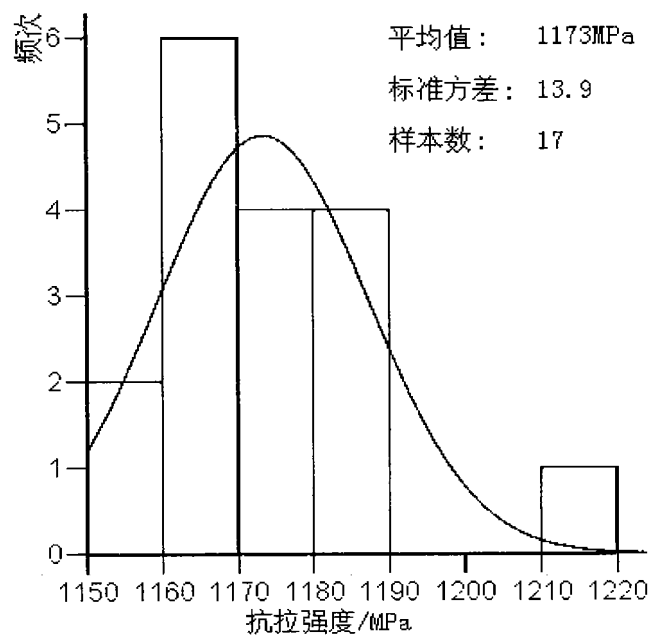


图 1(b)

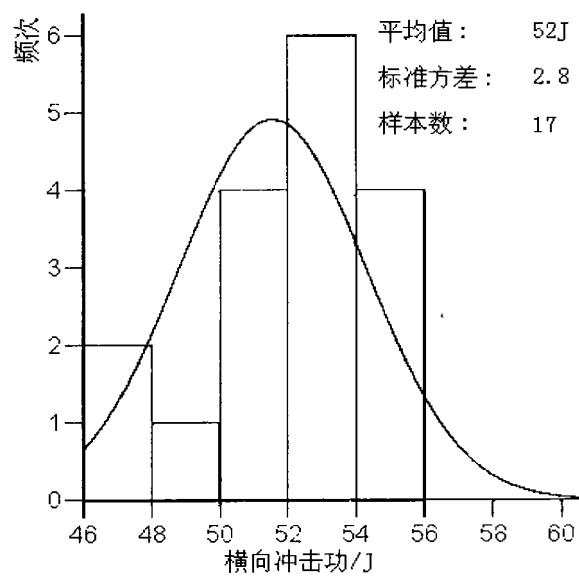


图 1(c)

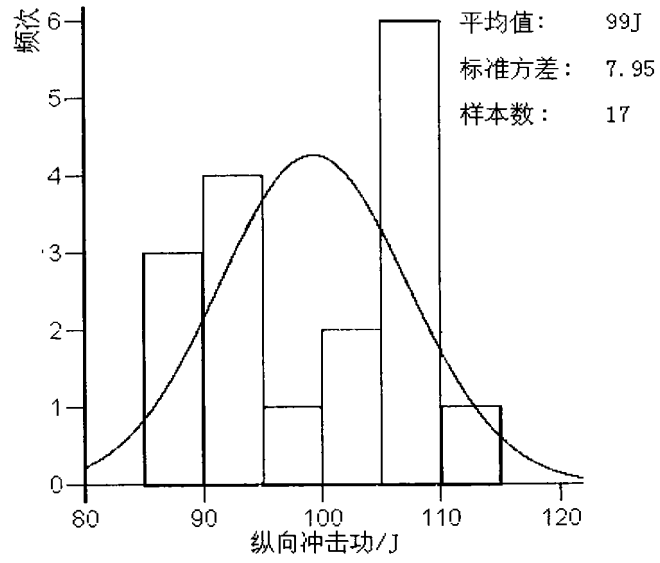


图 1(d)