

18Mn2CrMoBA (GC-11) 钢的应用

GC-11 钢 会 战 组*

前 言

目前在飞机生产中, 合金钢的用量甚大, 其中以30CrMnSiA钢的用量最多, 大部分用来制造钣金冲压和焊接组合结构件, 但是30CrMnSiA钢是采用油淬或等温处理而获得高强度的, 由于钢中含碳量较高(0.28~0.35%)而工艺性能较差, 生产中经常出现裂纹和变形, 为了排除故障和校形, 必须耗费大量的钳修工时。为了改变这种状态, 我们在Fortiweld钢的基础上, 使Mo-B中进一步添加强化元素进行合金化, 从而获得了一种低碳低合金高强度贝氏体型钢, 不仅填补了结构钢中珠光体型、马氏体型和奥氏体型钢中的一个空白, 而且在工艺方面有所发展。

近十年来的生产实践证明, GC-11钢在热处理、焊接和钣金冲压成型工艺方面均优于30CrMnSiA钢的水平, 而且具有与30CrMnSiA钢相当的机械性能和较高的中温(500°C以下)性能以及持久强度。因而在航空工业中受到广大工人、干部和技术人员的欢迎。

到目前为止, 已经在数个机种上采用的零件项目达三百多项, 有的机种上的使用寿命达500小时以上。经调查, 使用情况良好。

化学成份及机械性能

含硼钢的发现最早起于1938年, 它不仅大大提高了钢的淬透性, 而且显著地改善了钢的冷、热加工性能, 以后冶金界发展了一系列含硼钢。第二次世界大战后, 发展了许多调质硼钢、渗碳级硼钢, 并已广泛用在汽车、飞机齿轮和其它机器制造工业中, 取得了良好的效果。一般均可提高寿命25%。

大跃进年代以来, 我国也对Mn-B、Mo-B系结构钢的研制、生产和使用做了大量的试验研究工作, 在社会主义建设事业和国防建设中, 发挥了积极的作用。

但是, 这些钢种大都是以调质状态使用的。GC-11钢则是经正火空冷并回火后使用, 这就更有效地发挥了钢的特性。钢的化学成份见表1。

从表1的成份范围可以看出, GC-11钢的锰碳比高达9.5以上, 这对于降低钢的脆性转变温度是有利的; 钢中的钼使晶粒细化, 并抑制了由于高锰量所带来的回火脆性倾向。钢的机械性能见表2和图1。

钢的机械性能均能满足30CrMnSiA钢的技术要求。图1表明GC-11钢的强度随着回火

表 1 钢的化学成份 (%)

	C	Mn	Cr	Mo	B	Si	Ni	Cu	S	P
1.	0.16~ 0.21	1.6~ 1.9	1.0~ 1.3	0.45~ 0.60	0.001~ 0.004	≤0.30	≤0.30	≤0.25	≤0.030	≤0.025
2.	0.20	1.75	1.16	0.50	0.0024	0.27	—	0.007	0.007	0.017

1. 系技术条件规定的范围。

2. 系抚顺钢厂2—30331号炉。

* 会战组的成员有: 一一二厂, 一七二厂, 三二〇厂, 西工大和六二一所。

温度的升高而逐渐下降,500℃以后趋于明显,而钢的塑性韧性则相应地提高。

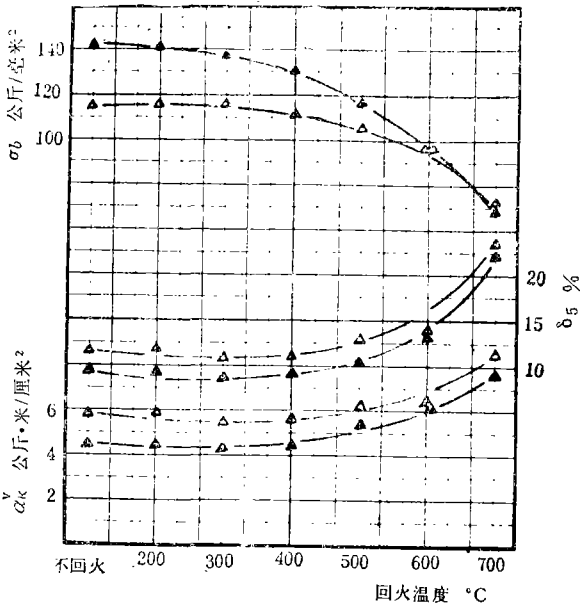
为了考察钢的回火脆性倾向,采用夏氏尖

缺口低温冲击试验,结果表明在300~400℃范围内,钢的冲击韧性有较明显的下降趋势(见图1c)。

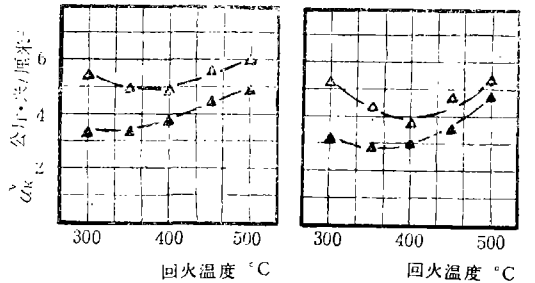
表 2 钢 的 机 械 性 能

品 种	热 处 理 状 态	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_5	δ_{10}	ψ	a_k
		公斤/毫米 ²			%		公斤米/厘米 ²
棒 材	920℃正火300~350℃回火,空冷	≥85	≥110	≥10	—	≥45	≥6
板 材	650~700℃回火,空冷	—	50—70	—	≥18	—	—
管 材	650~700℃回火,空冷	—	50—70	—	≥18	—	—

* 板材系≤4毫米的规定;管材系YB6:9—71规定。



a. 不同回火温度对性能的影响



b. -40℃时冲击性能 c. -60℃时冲击性能

图 1 不同回火温度对机械性能的影响
▲—920℃正火,模冷 △—920℃正火,空冷

但是,大量的试验表明,这一回火脆性区域随正火后的冷却速度的不同而有所波动,对钢的冲击韧性影响不明显,仅下降1公斤米/厘米²左右。通过生产实践和使用考核,对于使用是不会有影响的,因为在这个范围内回火

表 3 周期强度试验结果*

热 处 理 范 围	一次拉断强度 公斤/毫米 ²	K	频率 次/分	总循环次数 N
不回火	121.1	0.7	10	10095
250℃回火	119.1	0.7	10	12302
320℃回火	116.3	0.7	10	13989
450℃回火	115.0	0.7	10	16147
500℃	107.8	0.7	10	12985

* 热处理: 920℃正火,空冷;
三个试样的平均值。

表 4 低温光滑拉伸试验结果*

热处理规范	试验温度	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %
920℃正火,空冷	室 温	117.3	11.0
300℃回火	-40℃	124.5	11.3
	-60℃	125.6	11.7
920℃正火,空冷	室 温	112.3	11.0
450℃回火	-40℃	115.4	12.9
	-60℃	121.7	13.0

* 三个试样的平均值。

的钢的综合性能仍是良好的，见表2、表4及图2、图3。

钢的热处理及金相组织

众所周知，硼能够延缓奥氏体转变，使“C”曲线向右推移，因而使得GC-11钢经空冷时，在相当宽的冷速范围内获得贝氏体组织，图4是GC-11钢的动力学曲线。

由图可见，正火加热后，冷却速度从920℃冷到400℃的时间在21~946秒范围内，GC-11

钢均可获得满意的性能，当然，由于冷速的不同，钢的金相组织是有所差异的，通过光学及电子显微镜的观察，钢的基本组织可分为三种：(1)板条状马氏体；(2)贝氏体，其中以下贝氏体为主，也有少量的上贝氏体；(3)细小的颗粒相。以空冷为例，经920℃正火空冷，随后在560℃和450℃回火后的显微组织分别见图5~8。

为了满足航空工业中不同品种、不同产品的设计使用要求，根据图5的一系列试验结果，可以采用不同的回火温度获得不同的强度级别。推荐的回火温度见表。

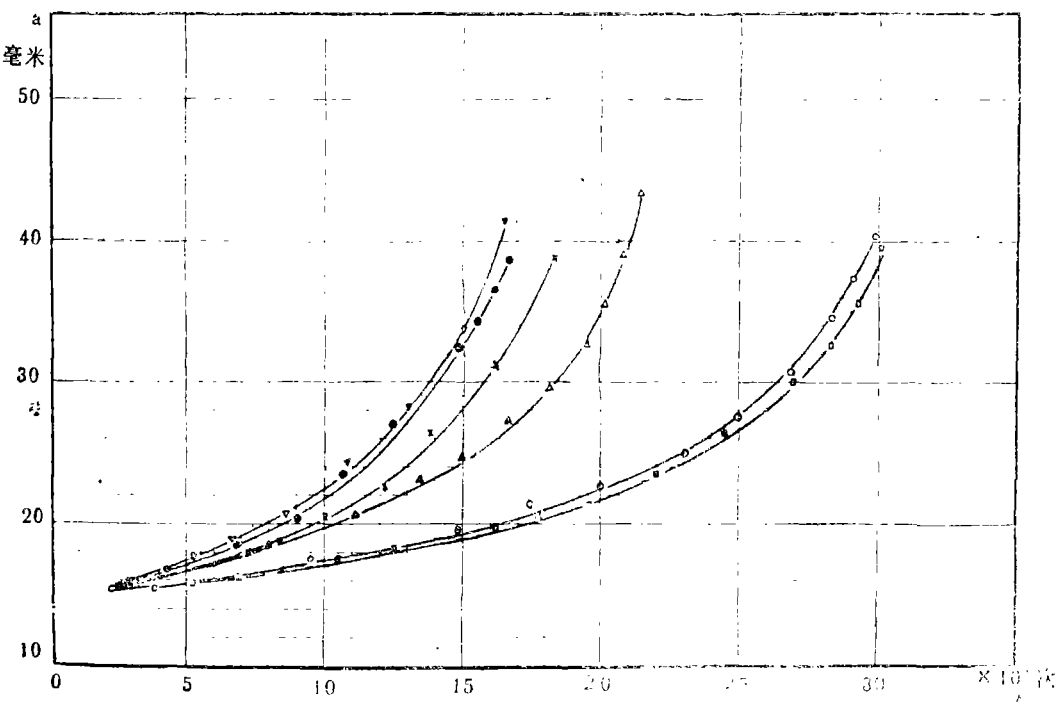


图2 GC-11、30CrMnSiA钢的拉伸疲劳曲线

○—GC-11	试样号	0	920℃空冷 (HRC38) 320℃回火
□—GC-11	试样号	25	920℃空冷 (HRC38) 450℃回火
△—30CrMnSiA	试样号	-4	890℃加热 390℃等温
×—30CrMnSiA	试样号	-20	890℃油淬 510℃回火
▽—GC-11	试样号	57	920℃模冷 320℃回火
●—GC-11	试样号	66	920℃模冷 450℃回火

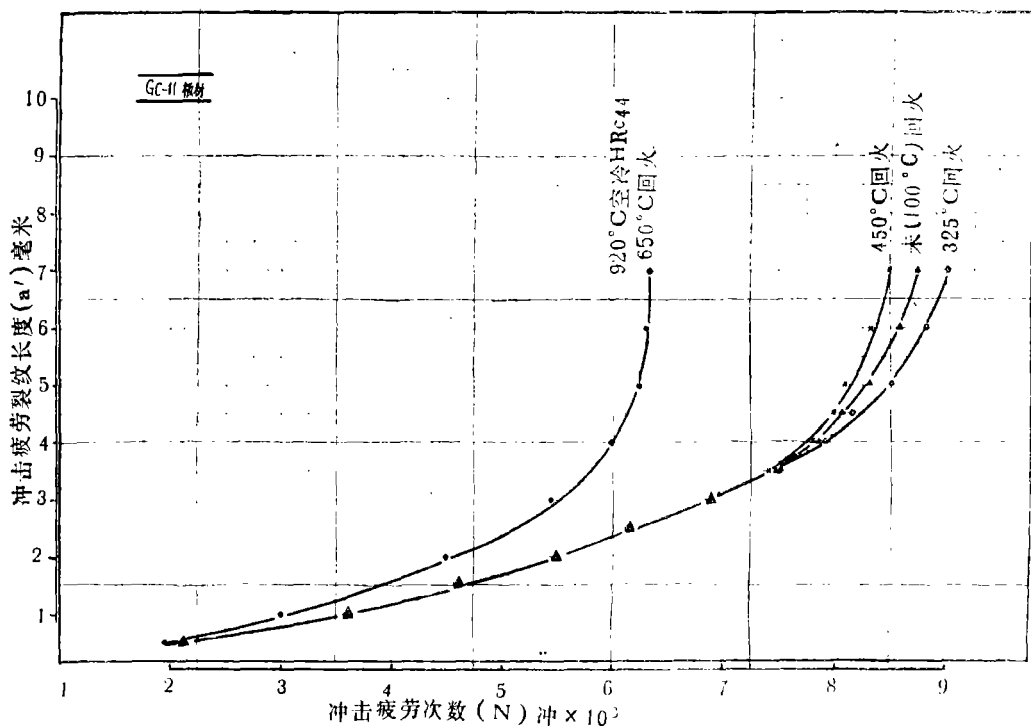
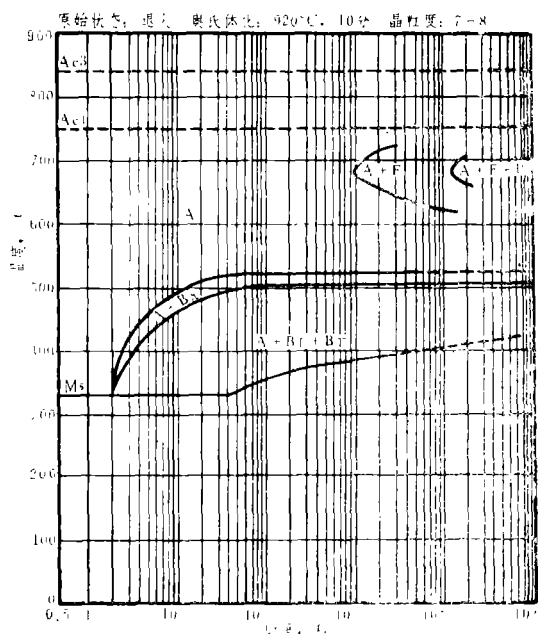


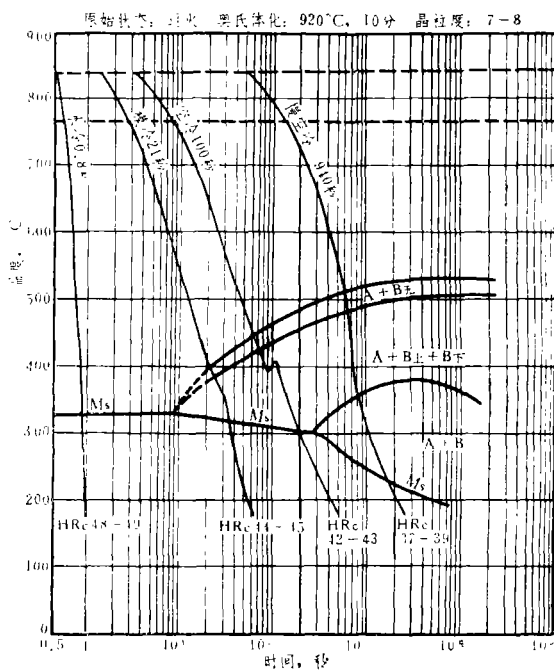
图 3 GC-11钢的冲击疲劳曲线

元素	C	Mn	Cr	Mo	B	Si	Ni	S	P
%	0.19	1.68	1.20	0.50	0.0011	0.26	0.20	0.005	0.015

元素	C	Mn	Cr	Mo	B	Si	Ni	S	P
%	0.19	1.68	1.20	0.50	0.0011	0.26	0.20	0.005	0.015



a. 钢的等温转相曲线



b. 钢的连续冷却转相曲线

图 4 GC-11钢的动力学曲线

图 5 300°C回火 ×1250
贝氏体+马氏体+颗粒相

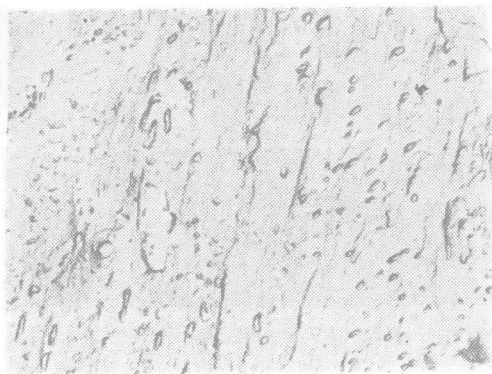
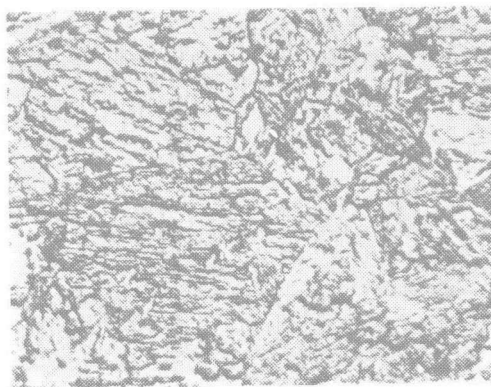


图 6 300°C回火 ×10000
贝氏体与马氏体相间排列，
贝氏体基上有次生碳化物析出

图 7 450°C回火 ×1250
贝氏体+回火屈氏体+颗粒相

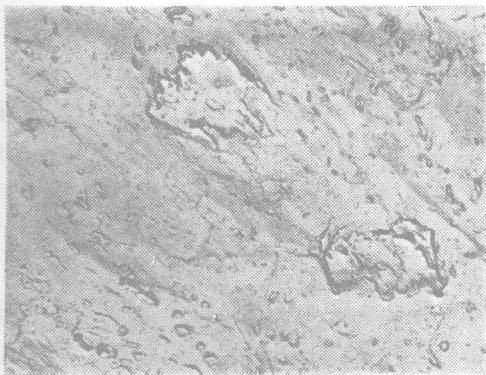
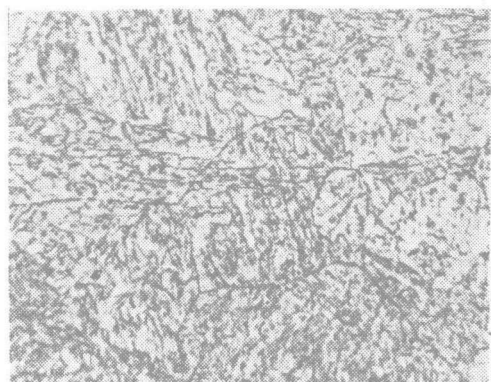


图 8 450°C回火 ×10000
颗粒相开始分解

表 5 推荐的回火温度

强度级别 公斤/毫米 ²	回 火 温 度(°C) ——920°C正火
80±10	630~650
100±10	550~600
110±10	480~530
120±10	300~400

钢的工艺特点及应用

GC-11钢在研制初期,首先用来制造发动机架圈和飞机起落架半轮叉,在进行静动力试验时,发动机架圈的静力负荷达设计负荷的310%,而30CrMnSiA钢制架圈的失稳负荷为275%。

波澜壮阔的无产阶级文化大革命推动了GC-11钢的推广使用。一九六八年以来,应用范围有了很大发展。强击机上选用的零件项数达104项之多。

通过近十年来的试验研究和生产实践的考验,GC-11钢的主要特点可以归结如下:

热处理工艺简便

空冷钢的热处理工艺比调质或等温处理显然要简便得多,可缩短工序时间和减轻工人的劳动强度。在制造钣金冲压件时,工厂成功地将正火加热与校形工序合并,创造了一项新的工艺,很有成效地提高了生产率。例如,强击机的座舱框梁,长达1.8米,型面设计比较复杂,过去采用30CrMnSiA钢生产时,由于热处理变形严重,回火时将零件装卡在一个重达2.5吨的铸钢模中,一个零件仅回火需24小时之久;采用GC-11钢以后,工效提高100倍以上。

当然,Mo-B钢的淬透性也是相当好的。

焊接性能良好

按HCS47-62试验方法测定的结果,GC-11钢的可焊性比30CrMnSiA钢高一级,也就是说,通过这一级可焊性考核的钢,其裂纹倾向最小,允许不预热就可以焊接形状复杂的构件。

在飞机生产中,有些大尺寸的焊接组合构

件只能在热处理后进行焊接。在这种情况下,调质钢的接头性能是低的,而GC-11钢的接头强度和基体金属(母材)的强度很相近,这也是空冷钢的一个重要特点。

轰炸机的天窗骨架就是一个很好的例子。它是由20个钣金冲压零件经热处理后组合钎焊成的(见图9)。过去用30CrMnSiA钢生产时,由于裂纹严重,报废率达40%左右;采用GC-11钢生产后,解决了工厂长期来存在的技术难关。

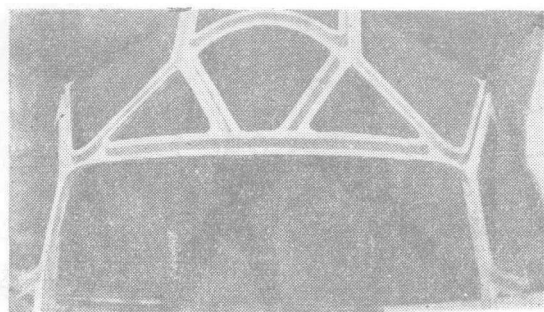


图 9 轰炸机天窗骨架组合构件

钣金件的冷校

由于GC-11钢具有较高的“缩颈系数”和较小的各向异性,深冲时的裂纹倾向比30CrMnSiA钢要小。但是在钣金零件的生产中,对于经热处理的零件总是要采用人工冷敲进行校正,这对于产品质量是有害的,因为锤击可能导致材料丧失塑性,提高钢的脆性转变温度,如果在锤击后立即进行电镀,钢的“氢脆”敏感倾向严重加剧。因此,对于GC-11钢的冷校正工序必须引起充分的注意和重视。

工厂的实践经验告诉我们,GC-11钢钣金冲压及焊接组合零件生产工序的安排,应当把“冷校正”放在回火工序之前进行是合理的:

(1) 因为经过正火处理的钢具有低的“屈服强度”和小的“弹性回跳”,容易校正;

(2) 冷校过程中产生的不均匀应力在回火后可以得到消除。

这样的工序安排可以“取其所长,避其所短”,充分发挥GC-11钢的特点。