

碳含量对耐蚀软磁合金 1J116 磁性能的影响

张权明, 迟 淳

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 分别从磁化理论和数理统计两个方面分析了影响耐蚀软磁合金 1J116 磁性能的因素。对某钢厂不同生产时期的生产质量水平通过理论计算进行了评估; 研究了化学元素 C 不同含量对材料磁性能的影响; 通过计算得到了提高磁性能的有效 C 含量范围。

关键词: 磁性能; 数理统计; 磁化理论

中图分类号: V255

文献标识码: B

文章编号: (2006)01-0040-05

Effect of carbon content on magnetic property of 1J116 anti-corrosion soft magnetic alloy

Zhang Quanming, Chi Chun

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

Abstract: The factors which influence the magnetic property of 1J116 anti-corrosion soft magnetic alloy were studied through the magnetization theory and the mathematic statistics. The quality level of a steel factory was evaluated. Moreover, the effect of carbon content on magnetic property was studied. The reasonable carbon content range which could enhance the magnetic property was calculated

Key words: magnetic property; mathematic statistics; magnetization theory

1 引言

耐蚀软磁合金 1J116 用于在氧化性介质和肼类介质中工作的电磁阀的材料。与坡莫合金相比,

它具有较高的饱和磁感和居里温度, 在高湿度、海水条件及很多活性介质中, 具有高的抗腐蚀性; 适用于在湿的和侵蚀性介质中无保护层工作的各种控制系统、电枢和电磁铁的磁导体、风动阀和液压阀磁导体, 其应用范围越来越广。该材料在

收稿日期: 2005-09-02; 修回日期: 2005-10-25。

作者简介: 张权明 (1970—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机金属材料。

有些工厂使用非常广泛，为有效控制合金的磁性能，保证产品零件的质量，需要对化学元素配比（尤其是碳元素含量）对合金磁性能的影响进行研究，以便采取措施控制元素含量，使零件达到满意的磁性能，满足产品要求。

2 1J116 材料理论分析

1J116 材料属于 Fe-Cr 合金，合金的化学成分和磁性能见表 1。

表 1 1J116 合金的化学成分和磁性能
Tab.1 Elements contents and magnetic property of the 1J116 alloy

化学成分/（%）							磁性能			
C	P	S	Si	Mn	Cr	Fe	不同磁场强度（A/m）时的 磁感应强度值 B/T			矫顽力 H_c /(A/m)
							B_{240}	B_{800}	B_{3200}	
≤0.03	≤0.020	≤0.020	≤0.20	≤0.60	15.5~16.5	余量	≥1.0	≥1.1	≥1.3	≤80

由 Fe-Cr 二元合金相图（图 1）可以看出^[1]，10%~20%Cr-Fe 的合金在常温下是具有体心立方晶格的铁素体（ α ）结构。图的较高温度部分已被公认， s 区和 $a+a'$ 区的边界尚未确定；因为达到平衡需要很长的反应时间，很可能永远不能确定。尽管如此，这个相图相当肯定地解释了发生在 Fe-Cr 合金系中几乎所有已观察到的现象，其中包括合金在 475℃脆裂的原因。16%Cr-Fe 合金，已偏离 s 相区域相当远，研究指出未出现固溶体的分解。Fe-Cr 合金具有高的各向异性常数和磁致伸缩，根据技术磁化过程理论，对于像非金属夹杂、C、N、S 等这样的一系列杂质来说，在足够高的纯度条件下，这种合金应该能够获得高的磁性。因此，原材料的成分、冶炼方法、最终热处理，对合金的磁性起着决定性作用。

C 是扩展 g 相区的最重要元素之一^[2]， g 区借助 C 而扩展，当 C 含量达到 2.0%（重量）时，可以获得均匀化的固溶体（奥氏体）。对 Fe-Cr 合金而言，C 属于杂质元素，是由冶炼时所选用的原材料以及冶炼方法和工艺操作等所带入钢中的，它的存在必将影响材料的磁性能。要求热处理后材料能够获得满意的磁性能，必须控制 C 含量。

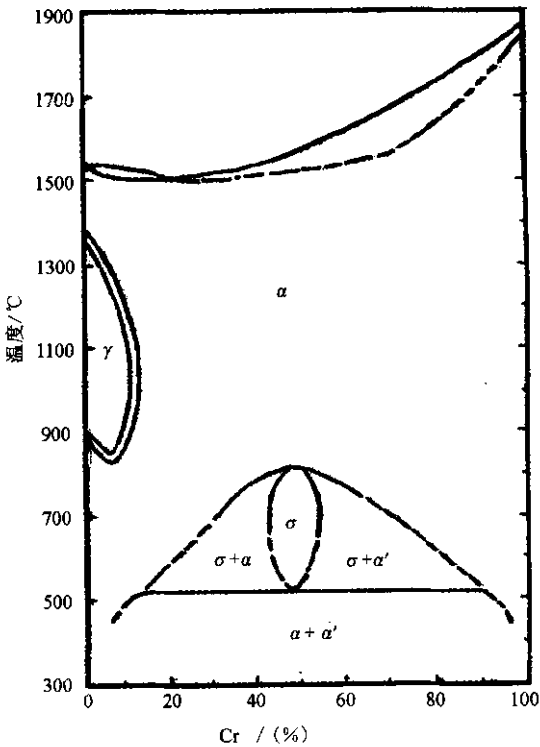


图 1 Fe-Cr 合金相图
Fig.1 Phase diagram of Fe-Cr alloy

3 数据统计分析与计算

3.1 数据来源

3.1.1 数据统计

对某钢厂共 134 组 1J116 材料复验结果进行统计和分析。其中：

前期共获得化学成分和磁性能数据 58 组，热处理后其磁性能均满足要求。

后期共获得化学成分和磁性能数据 76 组，其中 56 组热处理后磁性能满足要求，其余 20 组热处理后磁性能不满足要求。

3.1.2 热处理工艺及测试仪器

使用热处理工艺及设备一直未变化，测试仪器为磁性材料自动测量装置。

3.2 数学模型的建立

利用数理统计学理论，对不同时期的统计数据进行分析，主要解决以下两个问题：

(1) 对钢厂不同生产时期的材料生产质量水平进行评估；

(2) C 含量对材料磁性能的影响。

以上两个问题均可以通过数理统计学理论中的单因素方差分析方法予以解决。参考文献[3]中对单因素方差分析理论有详细论述，以下予以简述：

设在一项试验中，因素 A 有 r 个不同水平 A_1, A_2, \dots, A_r ，在水平 A_i 下的试验结果 X_i 服从正态分布 $N(\mu_i, \sigma^2)$ ($i=1, 2, \dots, r$)，且 $X_1, \dots,$

X_r 相互独立，其中 μ_i 为总体均值； σ^2 为总体方差。现在水平 A_i 下做了 n_i 次试验，获得了 n_i 个试验结果 X_{ij} ($j=1, 2, \dots, n_i$)，它可以看成是取自总体 X_i ($i=1, 2, \dots, r$) 的一个样本。由于 X_{ij} 服从正态分布 $N(\mu_i, \sigma^2)$ ，故 X_{ij} 与 μ_i 的差可以看成是一个随机误差 ε_{ij} ， ε_{ij} 服从正态分布 ($i=1, 2, \dots, r, j=1, 2, \dots, n_i$)。于是单因素方差分析的数学模型可以表示为

$$\left. \begin{aligned} X_{ij} &= \mu_i + \varepsilon_{ij} \\ \varepsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中，诸 ε_{ij} 相互独立。我们的任务是检验上述同方差的 r 个正态总体的均值是否相等，即检验假设： $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_r \leftrightarrow H_1: \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r$ 中至少有两个不相等，即

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r n_i \mu_i$$

式中， $n = \sum_{i=1}^r n_i$ 。当 $\alpha_i = \mu_i - \mu$ 表示因素 A 第 i 水平效应时，则试验数据的数学模型可写为

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

单因素方差分析问题即可检验假设 $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_r \leftrightarrow H_1$ ，至少有一个 $\alpha_i \neq 0$ 是否成立的问题。

为了检验上述假设，可采用离差平方和分解的方法予以计算，具体推导步骤见参考文献[3]。将所有分析列成方差分析表，见表 2。

表 2 方差分析表

Tab.2 Formulary for the statistic analysis

方差来源	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F 值	显著性
组间	$Q_A = \sum_{i=1}^r n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	$r-1$	$\bar{Q}_A = \frac{Q_A}{r-1}$	$F = \frac{\bar{Q}_A}{\bar{Q}_E}$	当 $\alpha = 0.05$ 时，若检验显著，打一个“*”号，当 $\alpha = 0.01$ 时，若检验显著，打两个“**”号。
组内	$Q_E = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$	$n-r$	$\bar{Q}_E = \frac{Q_E}{n-r}$		
总和	$Q_T = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$	$n-1$			

给定显著性水平 α ，如何确定小概率事件呢？由推导过程可知当 H_0 成立时，表 2 中的平均离差平方和 \bar{Q}_A 与 \bar{Q}_E 的期望值应该相等，即

$$E \frac{Q_A}{r-1} = E \frac{Q_E}{n-r}$$

当 H_0 不成立时

$$E \frac{Q_A}{r-1} > E \frac{Q_E}{n-r}$$

因此， F 值有偏大的趋势。于是可以从 F 分布数值表中查得 $F_{\alpha}(r-1,n-1)$ 的值，使

$$P\{ F \geq F_{\alpha}(r-1,n-r) \} = \alpha$$

一次抽样后由样本值计算得 F 的数值，若

$$F \geq F_{\alpha}(r-1,n-r)$$

则拒绝假设 H_0 ，即可认为在显著性水平 α 下，因素的不同水平对实验结果有显著影响；若

$$F < F_{\alpha}(r-1,n-r)$$

则接受假设 H_0 ，即可认为在显著性水平 α 下，因素的不同水平对实验结果无显著影响。

利用以上数学分析可以对统计数据进行数学计算和分析研究。

3.3 数据计算

由于实际检测时，均为 B_{240} 值不符合要求，故评估时只需代入 B_{240} 值进行计算即可。

3.3.1 不同时期材料质量水平评估

对不同时期的生产质量水平变化进行分析计算，方差分析结果见表 3。对 $\alpha = 0.01$ ，查 F 分布表得

$$F_{0.01}(1,132) > F_{0.01}(1,150) = 6.81$$

因为 $F = -27.14 < F_{0.01}(1,132)$ ，所以可以接受假设，也就是说不同时期的材料质量之间没有明显差异。说明该钢厂的生产质量水平稳定，未出现明显降低。

3.3.2 C 元素不同含量对磁性能的影响

由理论分析可以看出，化学元素 C 是影响磁性能的一个重要因素，从测试数据也可以看出，C 含量的变化对磁性能有一定影响，碳含量高时磁性能不容易合格。经初步分析，当碳含量小于 0.015% 时，磁性能 B_{240} 值均可满足 1.0T 要求，因此选择 $C \geq 0.015\%$ 和 $C < 0.015\%$ 作为两组试验数据进行方差分析，判断 C 含量对磁性能变化有无显著影响，方差分析结果见表 4。

表 3 方差分析表

Tab.3 Results of the statistic analysis

方差来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	显著性
组间	-0.95	1	-0.95	-27.14	不明显
组内	4.62	132	0.035		
总和	3.67	133			

表 4 方差分析表

Tab.4 Results of the statistic analysis

方差来源	离差平方和	自由度	均方离差	F 值	显著性
组间	0.92	1	0.92	44.23	**
组内	2.75	132	0.0208		
总和	3.67	133			

对 $\alpha = 0.01$ ，查 F 分布表得

$$F_{0.01}(1,132) < F_{0.01}(1,125) = 6.84$$

由于 $F = 44.23 > F_{0.01}(1,132)$ ，故可以认为不同的碳含量对磁性能的影响显著。也就是说，在热处理工艺不变的情况下，将碳含量控制在 0.015%

以下，可以显著提高材料的磁性能。

4 试验验证

根据以上计算结果，生产厂家采取措施对 C 含量进行了控制，试制批检测结果见表 5，试制批

磁性能均满足要求。

表 5 试制批检测结果

Tab.5 Testing results of the trial-manufacture

化学成分/(%)						磁 性 能			
C	S	P	Cr	Si	Mn	B_{240}/T	B_{800}/T	B_{3200}/T	$H_C/(A/m)$
0.0099	0.0093	0.016	15.83	0.076	0.19	1.1	1.2	1.3	14

5 分析与讨论

(1) 根据技术磁化理论, 冶炼的目的是室温下得到 α 铁素体组织, 而 C 属于强奥氏体稳定化元素, 高含量 C 的存在必将影响 α 铁素体的转化, 因此, 严格控制 C 含量有助于得到均匀 α 铁素体组织。

(2) 真空热处理的目的是使 α 铁素体晶粒长大、纯化组织、析出杂质, 为后续零件的工作做好准备, 严格控制 C 及其它杂质元素的含量必然可以有效提高材料的磁性能。

(3) 据参考文献[1]介绍, 前苏联、日本等国的 Fe-Cr 合金中碳含量一般都控制在 0.015% 以下, 前苏联的 16X 合金成分为: Cr15.5%~16.5%; C \leq 0.015%, 余量为 Fe; 日本的 Fe-Cr 合金 AUM-10、AUM-11、AUM-15 中 C \leq 0.01%, 由此也可以看出 C 含量对磁性能的影响。

(4) 由于统计数据有限, 目前只能针对 C 含量的影响进行分析, 至于其他元素的影响情况还需要进行更多的试验才能完成分析工作。

6 结论

通过数理统计计算以及磁化理论分析, 得出以下结论:

(1) 某钢厂不同时期的生产质量水平相当, 有些工厂使用的 1J116 合金材料稳定可靠;

(2) 元素含量对材料磁性能有较大影响。在冶炼工艺和热处理制度不变条件下, 当 C 含量小于 0.015% 时, 可以显著提高材料的磁性能。

参考文献:

- [1] 刘佑华, 等. 精密合金专集第一部分: 软磁合金[J]. 金属材料研究, 1994, 20 (4).
- [2] 王笑天. 金属材料学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [3] 数理统计编写组编. 数理统计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001.

(编辑: 马 杰)