

铁硅合金中立方结构的形成*†

周邦新 王维敏 陈能宽

(中国科学院)

提 要

铁硅合金(含硅3.25%)的样品,经过不同的冷轧和中间退火程序,在最后高温退火时,可以通过二次再结晶,或者一次再结晶形成集中的立方结构。通过二次再结晶形成立方结构时,并不包括重新形核的过程。(100)[001]取向的二次再结晶“晶核”,在一次再结晶完成后,就已经存在。通过一次再结晶形成的立方结构,由于样品在冷轧后,得到了较强的加工立方结构,退火时通过同位再结晶,就得到了再结晶立方结构。

电气工业中广泛采用的冷轧晶粒取向硅钢片,具有(110)[001]类型的结构,其中大部分晶粒的(110)面平行于轧面;[001]方向平行于轧向[如图1(a)].由于铁硅合金单晶体的[001]方向是易磁化方向,所以(110)[001]结构越集中,磁导率越高;损耗越低。

近廿五年来,对于铁硅合金中形成(110)[001]结构的问题,曾经进行过许多研究,但是这种结构,只能使沿着轧向是易磁化方向。如果在这种材料中,做出(100)[001]取向的立方结构,就不仅沿着轧向,同时沿着横向都是易磁化方向[如图1(b)].因此,磁性性能比(110)[001]结构的硅钢片更为优越。

在铁硅合金中得到部分的立方结构,文献中曾有过记载^[1,2],但得到象面心立方金属中那样高度集中的立方结构,还是近年来的事^[3-6]。实验结果证明:用立方结构硅钢片做成的变压器^[4],在所有磁场强度下,比用(110)[001]结构硅钢片做成的变压器,电能损耗低得多。在磁场强度为17000高斯时的损耗,大约只有(110)[001]结构硅钢片的60%。因此,能够制造出立方结构硅钢片这一新的进展,对电气工业将有重大的影响。就我国来说,为了满足新技术不断发展的需要,特别是为了使冶金工业尽早地用新材料来供应电气制造工业,及时进行立方结构硅钢片的研究及生产试制工作,已成为迫不及待的问题。

本文叙述了铁硅合金中立方结构形成的某些实验结果。发现这种合金的立方结构,可以通过二次再结晶,或者是一次再结晶得到,如果冷轧是沿着晶体的[001]方向,而

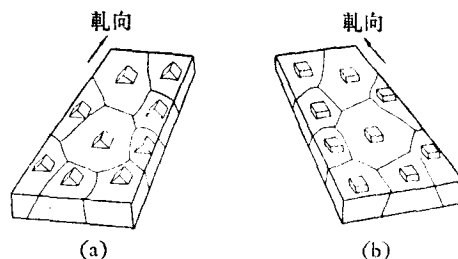


图1 (a) 硅钢片中(110)[001]结构的示意图
(b) 硅钢片中(100)[001]结构的示意图

* 1960年1月10日收到。

(100)面距离轧面不远时,冷轧后的组织可以趋近于(100)[001]取向,退火后就可以得到(100)[001]再结晶组织,这与过去 Chen 和 Maddin^[7]在“铝单晶体的冷轧和退火组织”,以及 Walter 和 Hibbard^[8]在“铁硅晶体的冷轧和再结晶组织”中的观察结果是相符合的。

实验程序和实验结果

本文所用的铁硅合金,含硅 3.25%,由电弧炉冶炼,冶炼时经过脱氧,浇铸前经过真空处理。铸锭热轧至适当的厚度,在 850°C 进行预先退火,然后进行冷轧。研究了样品在不同压下量和中間退火后的组织情况。通常在高真空管式电炉中进行最后退火。用 X 射线衍射照象的方法,测定出样品的组织。晶粒粗大的样品,用劳埃背射照象的方法,确定每个晶粒的位向。

通过二次再结晶形成的立方组织 样品经过一定的冷轧和中間退火程序,在最后高温退火时,可以通过二次再结晶形成立方组织。图 2 是样品二次再结晶后的实物照象,其中白色部分是立方取向的二次再结晶晶粒,黑色部分是还没有被吞并的一次再结晶晶粒(用 25% HNO_3 水溶液腐蚀)。从图 3 中可以看到立方取向晶粒的腐蚀坑是典型的正方

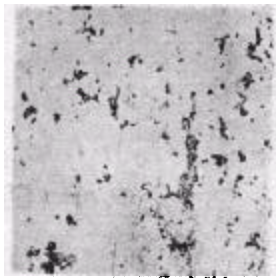


图 2 样品经过最后退火后的实物照片



图 3 具有立方组织的腐蚀坑

形(腐蚀液: FeSO_4 100 克,浓硫酸 10 毫升,加水成 1000 毫升的溶液)。用 X 射线劳埃背射照象的方法,确定了 32 个二次再结晶大晶粒的取向,绘出(100)面的极图[如图 4(a)],可以明显看出,样品通过二次再结晶,得到了很完整的立方组织,立方组织的(100)面,分

布在偏离 $\pm 5^\circ$ 以内; [001]方向分布在偏离 $\pm 15^\circ$ 以内,这与过去所观察到的结果是相同的^[3,5]。图 4(b) 是样品还没有发生二次再结晶前的(100)极图。从极图中不难看出,主要是一种分散的(110)[001]组织,包括(320)[001]、(120)[001]、(140)[001]取向,另外还有弱的(100)[001]组织和(111)[$1\bar{1}0$]组织。(100)[001]晶粒的数目,约占整个晶粒数目的 5—10%,能够长大成为集中立方组织的立方取向晶粒,大约只有其中的十分之一。

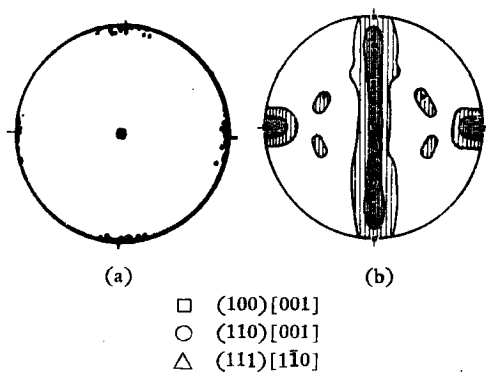


图 4 (a) 32 个二次再结晶晶粒位向的(100)极图
(b) 样品在二次再结晶前的(100)极图

通过一次再结晶形成的立方结构 过去工作曾指出, 在钼单晶体^[7]和铁硅合金单晶体中^[8], 可以通过一次再结晶得到立方结构. 我们把已具有某种结构的多晶样品, 经过冷轧退火, 通过一次再结晶, 也可以得到立方结构, 发现它们的机构是相同的. 这种样品, 经过最后一次冷轧, 得到了比较散漫的加工立方结构, 在较低的温度退火后, 就得到了再结

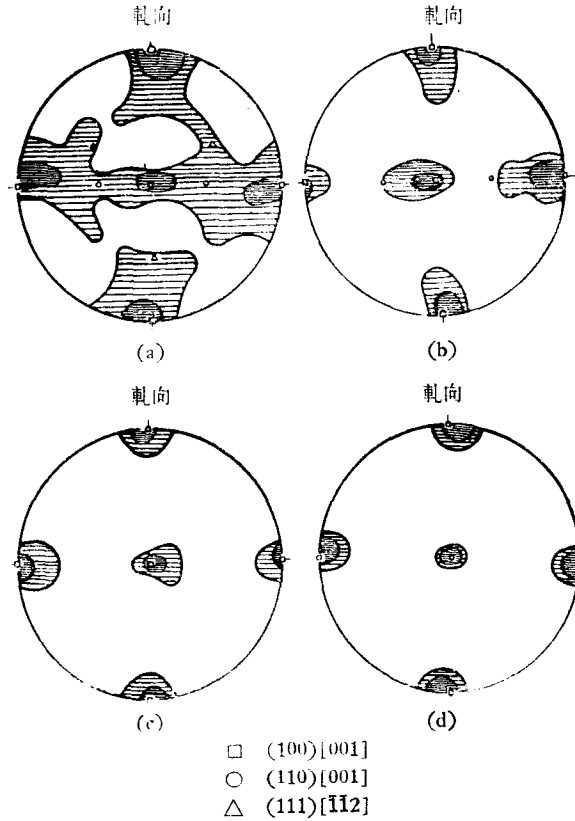


图5 从(a)到(d)是样品随着最后退火温度不断增高时(100)极图的变化

晶立方结构, 其他还有弱的(110)[001]和(111)[112]再结晶结构[如图5(a)]. 当退火温度增高时, (111)[112]结构首先消失, 但(110)[001]结构仍然存在[图5(b)]. 退火温度再继续增高, (110)[001]结构显著减弱, (100)[001]结构相应地加强[图5(c), (d)]. 用通常磁转矩方法测出立方结构的取向度, 可达90%. 图6是测出的(110)[001]结构和(100)[001]结构样品的磁转矩曲线.

为了从金相中能区分不同类型的退火结构, 并观察立方结构形成的过程, 将样品过度腐蚀. 图7(a)到(d)是对应于图5(a)到(d)样品的显

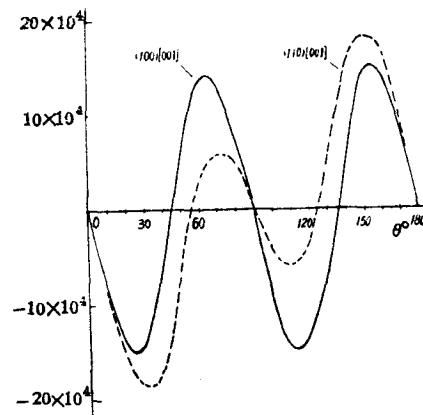


图6 立方结构和(110)[001]结构样品的磁转矩曲线

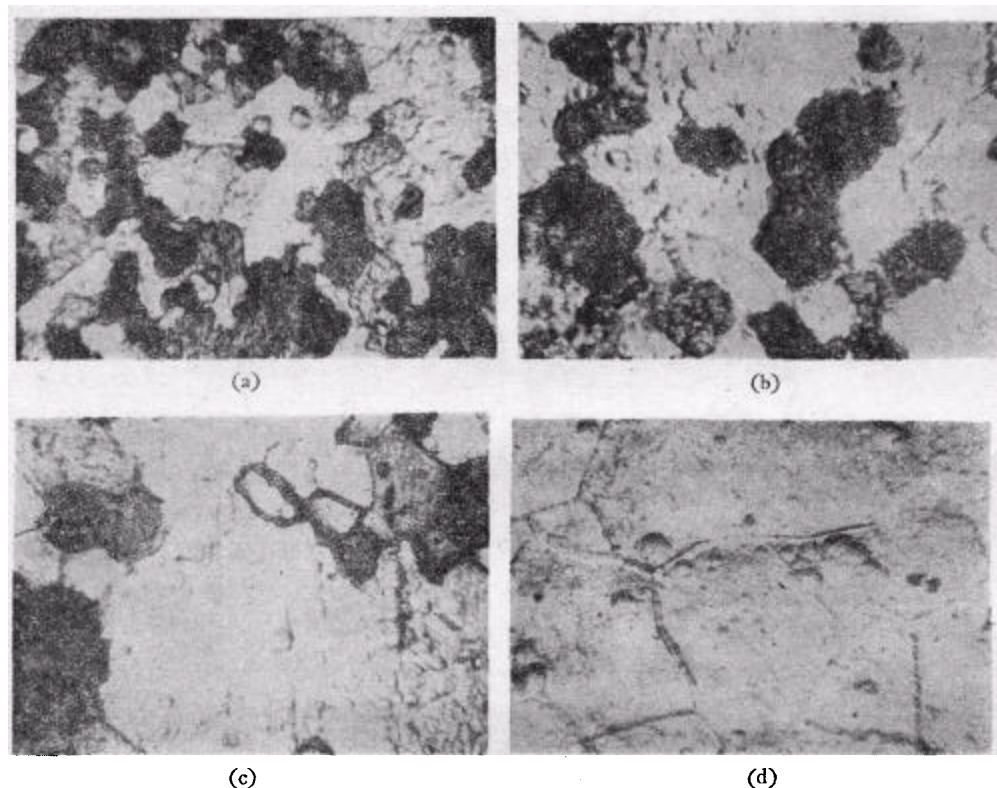


图7 (a)到(d)是样品随退火温度升高时显微组织的变化
[其中(a)到(d)与图5(a)到(d)相对应]

微组织照片。立方取向的晶粒,经过腐蚀后,仍然非常光亮,而其他(110)[001]取向的晶粒,就比较昏暗。从图7(a)中可以看到,样品在低温退火再结晶后,就已经形成了许多立方取向的晶粒,随着退火温度升高,所有晶粒都会发生长大,但立方取向晶粒的生长,显得优势更大。所以在高温退火后,得到了集中的立方组织。这是通常晶粒生长的过程,与上述二次再结晶过程有所不同。

结 论

1. 立方组织在铁硅合金中,可以通过一次再结晶,或者是二次再结晶得到的事实,说明了制造立方组织硅钢片,不必要通过交叉轧制,或是其他特殊的加工过程,也说明了立方组织并不只限于面心立方金属中才能得到。在体心立方结构的铁硅合金中,能够得到集中的立方组织,除了由于磁性性能上的改善,在工业上所引起重要的意义外,在科学上也有重要的意义。

2. 我们观察到通过二次再结晶形成立方组织时,并不包括重新形核的过程,(100)[001]取向的二次再结晶“晶核”,在一次再结晶完成后就已经存在。大多数情况是被(110)[001]取向的晶粒包围着,当其他一些晶粒正常的生长受到阻碍时,立方取向的晶粒才发生择优和夸大的生长。在这种情况下,常称的“二次再结晶”,正确的说,不是再结晶过程,而可以简单地看成是晶粒的择优和夸大生长过程。

3. 已具有某种織构的样品, 經过冷轧退火后, 也可以通过一次再結晶得到立方織构。从一些条件来看, 与过去报告过的单晶体工作类似^[7,8], 冷轧时必需得到加工的立方織构; 然后, 样品在低温退火时, 通过同位再結晶, 就可得到再結晶立方織构, 与立方織构同时存在的其他晶粒是(110)[001]取向的晶粒, 对立方取向晶粒的生长, 提供了有利的条件。因此, 随着退火温度升高, 可以使立方織构得到集中。

鋼鉄研究院供給了实验所需的原材料, 作者表示感謝。

参 考 文 献

- [1] Sixtus, K., *Physics* **6** (1935), 105.
- [2] Гольдман, А. А., Дружинин, В. В., Сборник посвящен. семидесятилетию академика А. Ф. Иоффе (1950), 455.
- [3] Assmus, F., Boll, R., Ganz, D. and Pfeifer, F., *Z. Metallkunde* **48** (6) (1957), 341.
- [4] Walter, J. L., Hibbard, W. R., Fieldle, H. C., Grenoble, H. E., Dry, R. H., Frischmann, P. G., *J. Appl. Phys.* March (1958), 363.
- [5] Wiener, G., Albert, P. A., Trapp, R. H., Littmann, M. F., *J. Appl. Phys.* March (1958), 366.
- [6] 池内駿, 金属, **5** (1959), 390.
- [7] Chen, N. K. (陈能寬) and Maddin, R., *J. Metals* Feb. (1953), 300.
- [8] Walter, J. L. and Hibbard, W. R. *Trans. AIME* **212** (1958), 731.

THE FORMATION OF CUBE TEXTURE IN AN IRON SILICON ALLOY

CHOW PANG-HSIN WANG WIEN-MIN CHEN NENG-KUAN
(*Academia Sinica*)

ABSTRACT

In the present paper some of the results of our studies on the formation of cube texture in an iron silicon alloy with silicon content of 3.25% are described. It is found that cube texture in this alloy can be developed either by the process of secondary recrystallization or simply by the process of primary recrystallization. In case of the formation of cube texture by the former process no nucleation process is involved. Nuclei of the (100) [001] orientation are already present after the completion of primary recrystallization, and are surrounded, for most cases, by grains having (110) [001] orientations. Exaggerated growth of cube-oriented grains takes place when the normal growth of other grains are restricted. In case of the formation of a cube texture by primary recrystallization, a spread of cold-rolled cube texture must be present after the last step of cold rolling. Upon final annealing at a low temperature, a recrystallized cube texture by the process of "recrystallization-in-situ" is obtained. The cube texture may be further concentrated with an increase of final annealing temperature.

Basing upon the measurements by the conventional magnetic torque method, the amount of (100) [001] texture is calculated to be over 90%.