

# 立方取向镍铁合金的轧制结构\*

張信鈺 何崇智 戴礼智

## 提 要

本文用计数器X射线衍射仪测定了立方取向镍铁合金的轧制结构。试样经过不同压延率的冷轧,随着形变程度的增加,逐渐形成了形变结构(112)[111], (110)[112]和共生结构(3, 7, 11)[9, 4, 5]。在大于90%压延率的样品中,立方结构仍然保存。应用Rowland点阵转变模型和滑移机理来解释结构转变过程。

## 引 言

含镍约50%的镍铁合金,经过适当冷加工和熟炼后能形成一种再结晶立方结构——即晶体的{100}面平行于试样的加工面,〈100〉方向平行于试样的轧制方向。具有这样再结晶结构的镍铁合金,其磁滞回线呈现矩形。关于镍铁合金的结构研究,已有较详细的报导<sup>[1-7]</sup>。在已形成立方结构的基底上,以一定量的压延率进行轧制,材料称为等导磁合金(isoperm)。Six, Snoek, Burgers<sup>[8]</sup>, Dahl, Pfaffenberger<sup>[9]</sup>对这类材料曾进行过研究。在轧制过程中,材料由立方结构转变的详细情况,尚缺少报导(虽然有的研究者<sup>[10]</sup>曾提到经轧制后立方结构仍然保持),本文用计数器X射线衍射仪详细地测定了这类合金在轧制过程中立方取向的转变。

Rowland<sup>[11]</sup>曾经提出一个密集排列的圆球模型,描述在立方轴向加压所引起的点阵转变。过去对金属形变结构的形成,常以最大切应力和滑移系统作解释,但对形变结构成分的形成过程未能细致地加以分析。Burgers, Verbraak<sup>[12]</sup>曾首先考虑应用Rowland转变机构以研究铜中立方结构的起因。本文企图以Rowland模型,结合滑移系原理,探讨立方取向镍铁合金经过不同压延率冷轧后各类形变结构成分的形成机理。

## 实 验 步 骤

本实验所用材料系由高频感应炉真空冶炼,合金的化学成分如下:

| 元 素 | C     | Mo     | Si     | P     | S     | Ni    |
|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 成分% | 0.023 | <0.004 | <0.005 | 0.004 | 0.009 | 49.66 |

试样锻成板坯,经过热轧和冷轧,冷轧压延率大于90%。最后高温氢气熟炼,获得立方结构。

将已形成立方结构的合金再予冷轧,压延率为10%, 30%, 50%, 70%, 87%, 93%和96%。

\* 1963年1月3日收到;1963年5月11日收到第一次修改稿;1963年10月22日收到第二次修改稿。

在 X 射线测定组织中所用的样品, 经过仔细腐蚀, 试样表面和厚度尽量保持均匀。组织测定系在盖革计数器 X 射线衍射仪上进行。为了完整地表达极图的中心处和边缘部分, 同时采用了反射法和透过法记录。在这二种记录方法上所获得的极图重叠处作强度级的校正。为了使试样能照射更多的面积, 试样还作了积分移动。所用的 X 射线为  $FeK_{\alpha}$  辐射。计数器测定极图方法的基本原理, 已有文献 [13—15] 叙述。本实验还利用金相法观察了合金经形变后的显微组织。

## 实 验 结 果

试样经高温氩气熟炼后, 再结晶组织的极图如图 1(a) 所示。从极图可以知道, 这是立方组织的材料。在金相照片上呈现正方形腐蚀坑 [见图 1(b)], 同时一些孪生带位置与轧制方向约成  $45^{\circ}$  排列 [见图 1(c)], 这些都可证实这试样具有完整的立方组织。

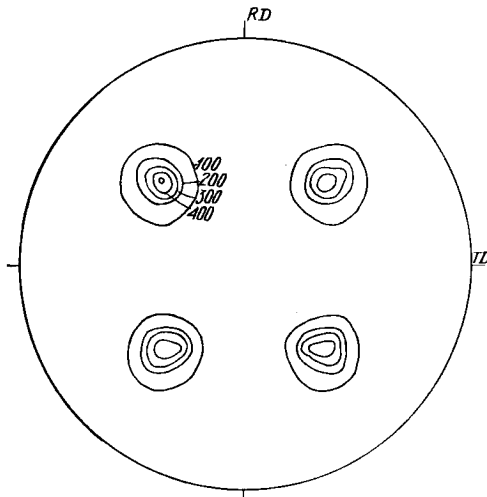


图 1(a) 镍铁合金立方组织 {111} 极图  
○ (100)[001] R. D. 轧向, T. D. 横向

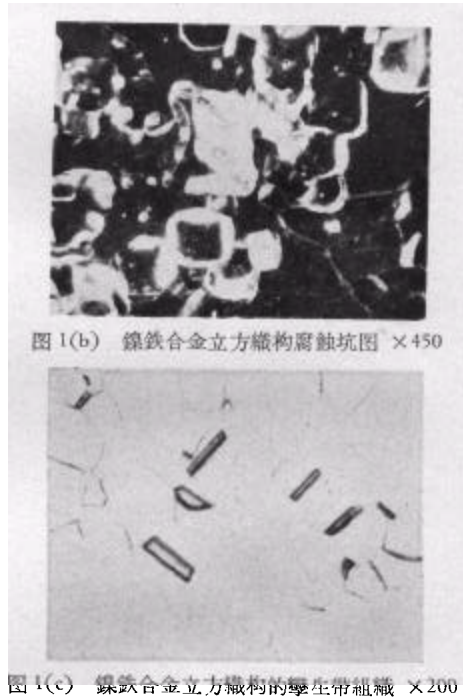


图 1(b) 镍铁合金立方组织腐蚀坑图  $\times 450$

图 1(c) 镍铁合金立方组织的孪生带组织  $\times 200$

图 2(a) 为经过 10% 压延后的立方组织极图, 图 2(b) 为金相组织。由于加工变形的影响, 立方组织的取向度发生偏离。

冷轧压延率为 30% 的试样极图如图 3(a), 可以看出其立方组织偏离度变大。在金相组织上 [图 3(b)] 见到, 随形变率的增加, 晶粒沿轧向有延长的倾向。

经过 50% 冷轧后的样品极图如图 4(a), 除立方组织外, 出现了形变组织  $(112)[11\bar{1}]$  和一种  $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}]$  组织。从金相组织 [图 4(b)] 观察到孪生带的排列越来越倾向于轧制方向, 晶粒延长程度加剧并发生碎化。

图 5(a) 为试样经过 70% 压延后的极图, 除  $(112)[11\bar{1}] + (3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}]$  二种组织外还出现了  $(110)[1\bar{1}2]$  组织。图 5(b) 为相应的金相组织图。

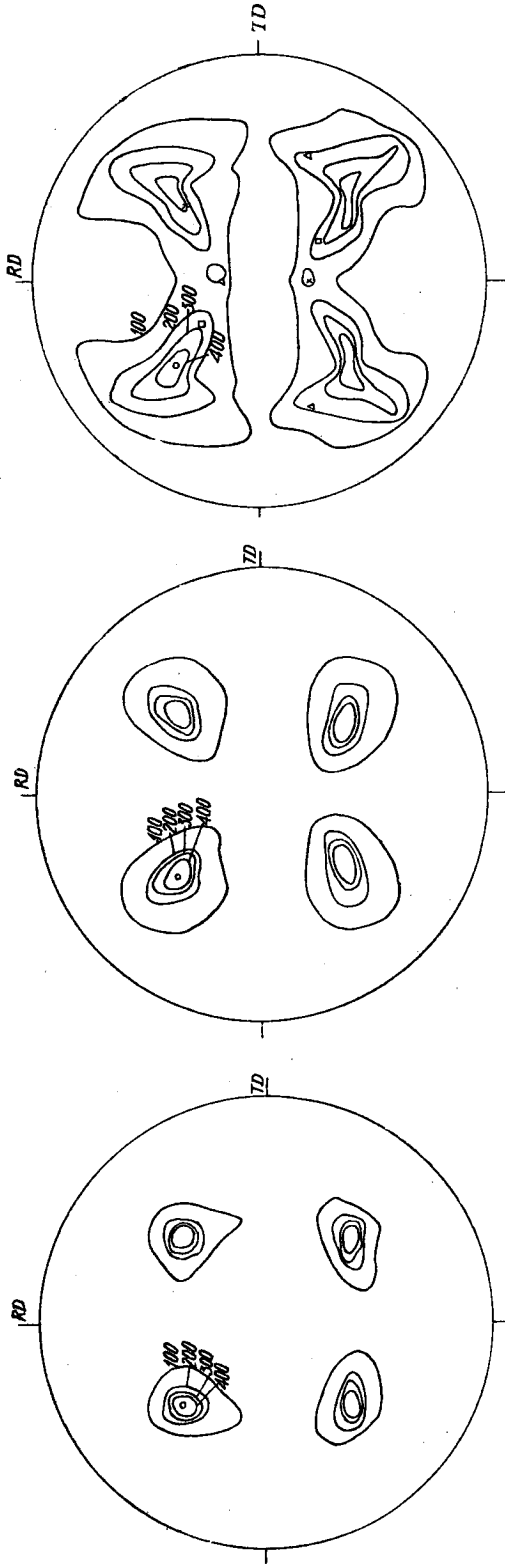


图 2(a) 立方取向镍铁合金冷轧 10% {111} 极图 图 3(a) 立方取向镍铁合金经 30% 压延率 {111} 极图 图 4(a) 立方取向镍铁合金经 50% 冷压延率 {111} 极图  
 ○ (100) [001]    × (3, 7, 11) [9, 4, 5]    △ (112) [111]

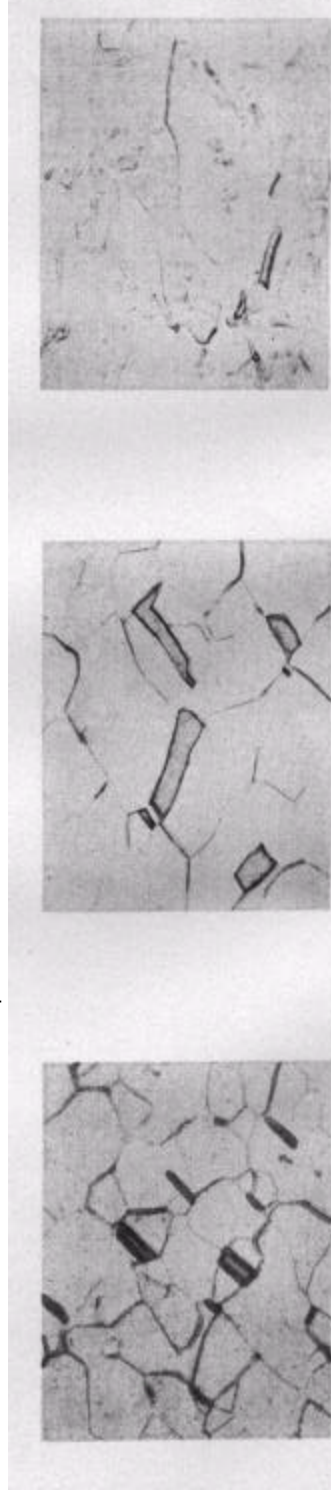


图 2(b) 立方取向镍铁合金经 10% 冷轧压延率 X 200  
 图 3(b) 立方取向镍铁合金经 30% 冷轧压延率 X 200  
 图 4(b) 立方取向镍铁合金经 50% 冷轧压延率 X 200

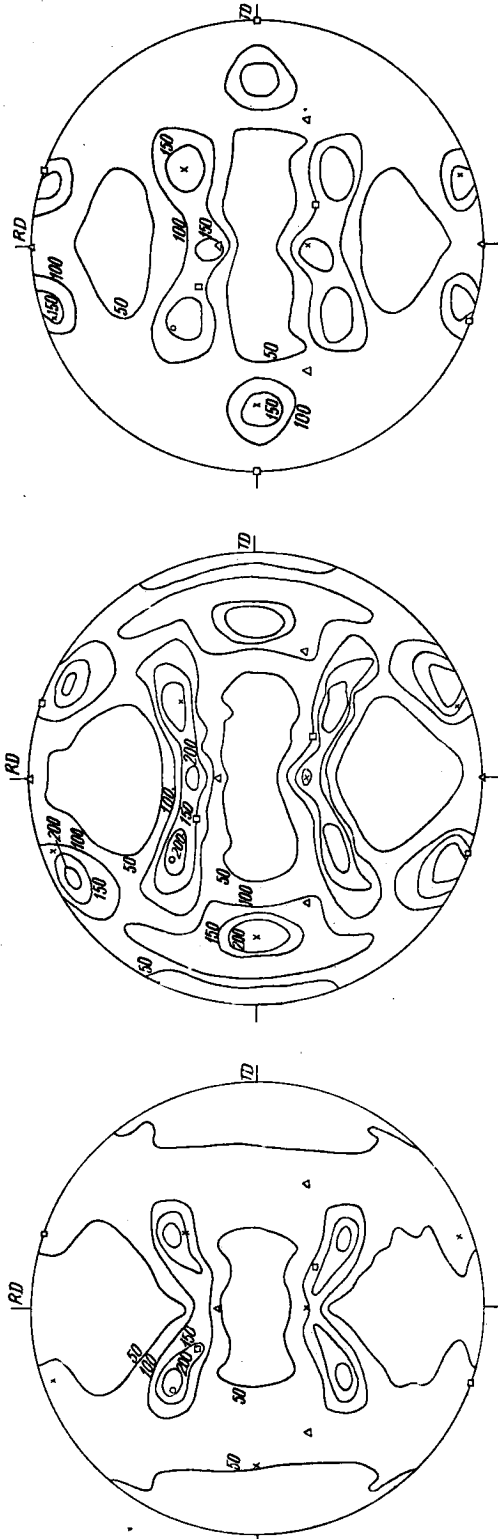


图 5(a) 立方取向镍铁合金经过冷轧压延率 70%

{111}极图

- (100) [001]
- △ (112) [111]
- × (3, 7, 11) [9, 4, 5]
- (110) [112]

图 6(a) 立方取向镍铁合金冷轧压延率 87%

{111}极图

- (100) [001]
- × (3, 7, 11) [9, 4, 5]
- △ (112) [111]
- (110) [112]

图 7(a) 立方取向镍铁合金冷轧压延率 93%

{111}极图

- (100) [001]
- × (3, 7, 11) [9, 4, 5]
- △ (112) [111]
- (110) [112]



图 5(b) 立方取向镍铁合金经过 70%冷轧压延率

× 200

图 6(b) 立方取向镍铁合金经过 87%冷轧压延率

× 200

图 7(b) 立方取向镍铁合金经过 93%冷轧压

延率 × 200

冷轧 87% 的试样的加工织构主要为  $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}] + (112)[11\bar{1}] + (110)[1\bar{1}2]$ , 而原有的立方织构较弱, 见图 6(a). 冷轧压延率 93% 和 96% 的极图相同, 其形变织构似压延率 87% 的样品, 惟形变织构加强, 立方织构更弱, 见图 7(a). 从金相组织照片图 6(b) 与 7(b), 可观察到晶粒已全碎化.

## 讨 论

从上述实验结果得知, 具有立方取向镍铁 (50/50) 合金经过不同压延率冷轧后, 逐渐发展为形变织构, 随着压延率的加大, 形变织构逐步增强, 而立方织构减弱. 在压延率高达 93% 的样品内, 其织构为  $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}] + (110)[1\bar{1}2] + (112)[11\bar{1}] + (100)[001]$ .

镍铁 (50/50) 合金系面心立方点阵, 属于这类的金属或合金经冷轧后能形成类同的形变织构<sup>[16]</sup>. 铜和铝的轧制织构有  $(110)[1\bar{1}2]$ ,  $(112)[11\bar{1}]$ ,  $(135)[53\bar{3}]$ ,  $(135)[21\bar{1}]$ . 胡郁, Sperry, Beck<sup>[17]</sup> 用计数器 X 射线衍射仪测定了铝片的轧制织构为  $(7, 12, 22)[8, 4, \bar{5}]$  漫散的四个理想取向, 或者说接近于  $(123)[41\bar{2}]$  取向 (这取向曾写成  $(123)[12\bar{1}]$ , 实际上  $[12\bar{1}]$  向系平行于横向, 现写为  $(123)[41\bar{2}]$ ). 银和黄铜的轧制织构与上述材料有差别, 只具有  $(110)[1\bar{1}2]$  织构. 因此研究者区分为铜与黄铜两个类型的轧制织构<sup>[18]</sup>. 从本实验明显地看出镍铁合金的轧制织构属于铜一类型.

关于镍铁合金形变织构的工作, Burgess, Snoek<sup>[2]</sup> 指出是一种混合的  $(110)[1\bar{1}2] + (112)[11\bar{1}]$  取向. Бородин, Громов<sup>[19]</sup> 在含 48% 镍铁合金冷轧薄带内获得  $(110)[1\bar{1}2]$  和  $(110)[3\bar{3}5]$  织构. Howel<sup>[20]</sup> 测定含 65% Ni 及少量 Mo 的坡莫合金冷轧织构为  $(110)[1\bar{1}2] + (112)[11\bar{1}]$ . 郭本坚<sup>[21]</sup> 在含 79% Ni 的铝坡莫合金极薄带内得到  $(110)[3\bar{3}5]$  织构. 这些试样都是从纷乱取向的基底轧制的. 本实验选择立方取向的基底, 研究织构转变, 似较为理想, 因为由简单情况然后能了解较复杂的过程.

Rowland<sup>[11]</sup> 利用密集排列的钢球制成模型, 在立方轴向加压, 研究点阵转变, 这在前一节已提到. 图 8(a) 表示由八面体组成的模型 PQRSV. 当从对角线 PR 或 QS 加压, 模



图 8(a) Rowland 转变模型.

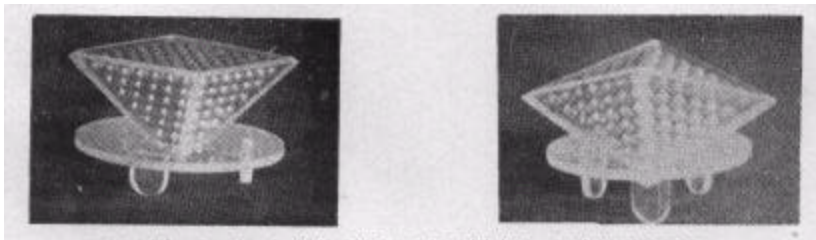


图 8(b) Rowland 模型, 用透明胶板及钢球制. 图为模型的照片.

型可以变形。这种类型的变形并不导致点阵的破坏,相反地为一顺利而连续的转变,成为两个半个四面体,  $P'Q'S'V'$  和  $R'S'Q'V'$  的孪晶。在图 8(a) 中的  $SQ$  从  $[100]$  方向转变为  $[110]$  方向,  $PR$  向在原来模型中为  $[001]$ , 转变后成为孪晶的公共的  $[111]$ , 而垂直的  $VT$  由  $[010]$  转变为  $[11\bar{2}]$  与  $[\bar{1}\bar{1}2]$ 。恰如在一个面心立方点阵中发生的机械孪晶,  $\{111\}$  面(如  $PSV$ ) 固定住, 其他面向之平行滑移,  $SQV$  原为  $\{100\}$ , 通过转变成为  $\{111\}$ 。在实验中我们用透明的胶板及滚珠钢球仿制了 Rowland 模型, 如图 8(b)。

从上述实验结果得知随形变率的增加, 在立方取向基底中先形成了  $(112)[11\bar{1}]$  和  $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}]$ 。按照 Rowland 模型, 如简单的机械孪晶生成, 立方结构转变为  $(112)[11\bar{1}]$  结构。图 10 示意地表示出从  $(100)[001]$  转变为  $(112)[11\bar{1}]$  时的原子位移。在

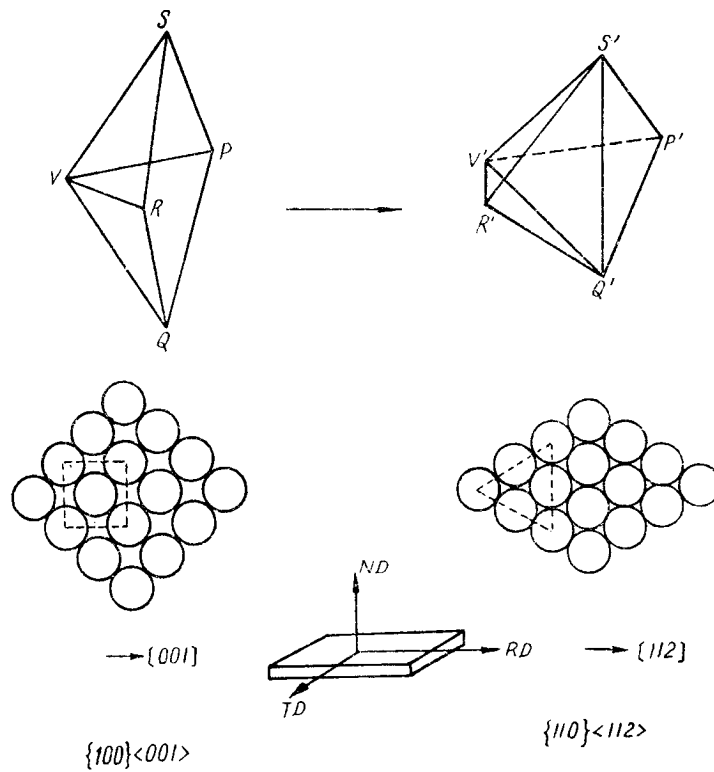


图 10 立方结构经轧制转变为  $\{110\}\langle 112\rangle$  的 Rowland 点阵转变。

$(112)[11\bar{1}]$  出现的同时, 还产生了  $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}]$  结构。这一种取向, Custer<sup>[22]</sup> 称之为  $Z$ -结构; Verbraak<sup>[23]</sup> 称之为“无理”结构。刘有召, Hibbard<sup>[24]</sup> 以为是“变移式”结构。颜鸣皋<sup>[25]</sup> 称为“共生”结构。从本实验结果得知, 这类结构是与  $(112)[11\bar{1}]$  同时“共生”的, 在极图上并占有较高的强度。

当压延率增大, 接着出现  $(110)[11\bar{2}]$  结构, 这时原子的位移情况如图 9 所示。 $(112)[11\bar{1}]$  与  $(110)[11\bar{2}]$  两类结构在轧制中的相互转变, 如从原子位移的观点, 也并非不可能。Baldwin<sup>[26]</sup> 在立方结构的铜片基础上再行轧制, 随着压延率的增加, 形变结构依次出现。他的实验中采用照相方法绘制极图而没有发现这类“共生”结构。

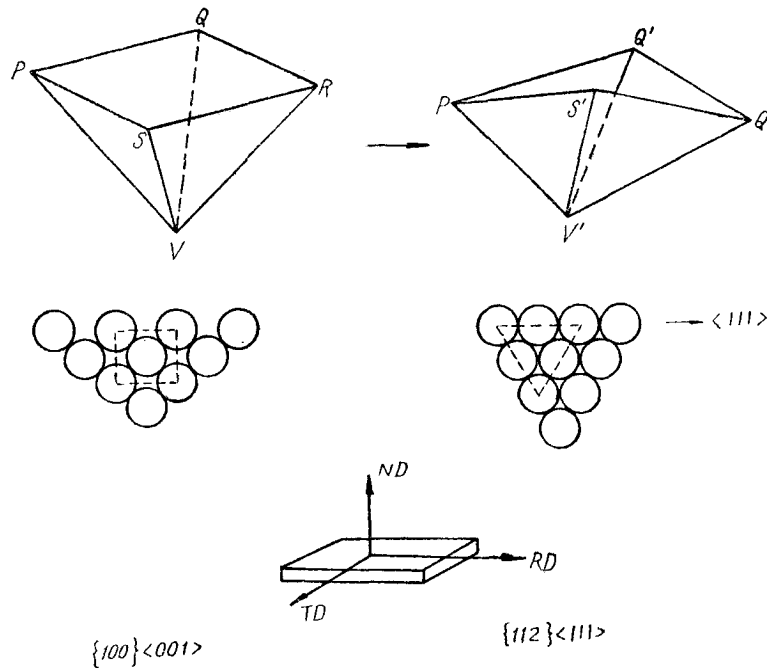


图9 立方織构經軋制后轉变成 $\{112\}\langle 111\rangle$ 的 Rowland 点陣轉变。

## 总 結

本文用計数器 X 射綫衍射仪测定了立方取向鎳鉄 (50/50) 合金經過各种压延率的軋制織构,同时观察了金相組織。在压延率为 50% 时出現 $(112)[11\bar{1}]$ 及 $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}]$ 織构。在压延率为 70% 时,除去上述織构外,还出現 $(110)[11\bar{2}]$ 織构。当压延率达到 93% 与 96% 时,試样的加工織构主要为 $(3, 7, 11)[9, 4, \bar{5}] + (112)[11\bar{1}] + (110)[11\bar{2}]$ ,而原有的立方織构較弱。对于实验結果用 Rowland 点陣轉变模型結合滑移系原理作了解释。

本文在定稿前承顏鳴臯同志审閱,并提供了宝贵意見,謹致謝意。

## 参 考 文 献

- [1] Pawlek, F., *Z. Metallkunde*, **27** (1935), 160.
- [2] Burgers, W. G., Snoek, J. L., *Z. Metallkunde*, **27** (1935), 158.
- [3] Dahl, O., Pawlek, F., *Z. Metallkunde*, **28** (1936), 230.
- [4] Rathenau, G. W., Snoek, J. L., *Physica*, **8** (1941), 535.
- [5] Schmid, F., Thomas, H., *Z. Metallkunde*, **41** (1950), 45.
- [6] Grewen, G., Segmüller, A., Wassermann, G., *Archiv für Eisenhüttenw.*, **29** (1958), 119.
- [7] 戴礼智、张信钰、刘壬宝, *金属学报*, **4** (1959), 52; *中国科学*, **11** (1962), 753.
- [8] Becker, R., Döring, W., *Ferromagnetismus*, Springer, Berlin, 1939, 431.
- [9] Dahl, O., Pfaffenberger, J., *Metallwirtschaft*, **14** (1935), 25.
- [10] Pawlek, F., *Magnetische Werkstoffe*, Berlin (1952), 256.
- [11] Rowland, P., *J. Inst. Metals*, **84** (1955), 455.
- [12] Burgers, W. G., Verbraak, C. A., *Acta Met.*, **5** (1957), 765.
- [13] Decker, B. F., Asp, E. T., Harker, D., *J. Appl. Phys.*, **19** (1948), 388.

- [14] Schulz, L. G., *J. Appl. Phys.*, **20** (1949), 1033.  
[15] Geisler, A. A., *Modern Research Techniques in Physical Metallurgy*, Cleveland, Ohio (1953), 154.  
[16] Barrett, C. S., *Structure of Metals* (1953), chap. 18.  
[17] 胡, H (胡娜), Sperry, P. R., Beck, P. A., *Trans. AIME*, **194** (1952), 56.  
[18] Наевнер, F., *Z. Metallkunde*, **53** (1962), 408.  
[19] Бородкина, М. М., Громов, Н. П., *ФММ*, **8** (1959), 761.  
[20] Howe, C. H., *Proc. of Conf. on Magnetism and Magnetic Materials* (1955), 264.  
[21] Koh, P. K. (郭本坚), *J. Appl. Phys.*, **29** (1958), 636.  
[22] Custer, J. L., *Physica*, **8** (1941), 771.  
[23] Verbraak, C. A., *Acta Met.*, **6** (1958), 580; **8** (1960), 65.  
[24] Liu, Y. C. (刘有召), Hibbard, W. R., *Trans. AIME*, **203** (1955), 381.  
[25] 顏鳴皋、周邦新, *物理学报*, **14** (1958), 121.  
[26] Baldwin, W. M., *Trans. AIME*, **166** (1946), 591.

## ROLLING TEXTURES IN CUBICALLY ALIGNED NICKEL-IRON

CHANG S. Y. HO T. C. TAI L. C.

### ABSTRACT

An investigation of the rolling textures in recrystallized, cube-textured nickel-iron alloy containing 50 percent nickel and 50 percent iron has been carried out.

The specimens used in the experiments were first heavily rolled and then annealed to give a cube texture. The textured specimens were again rolled with reductions of 10, 30, 50, 70, 87 and 93 percent. Pole figures were determined by using a counter X-ray diffractometer.

The results are discussed in the light of lattice transformation, a model first proposed by Rowland.