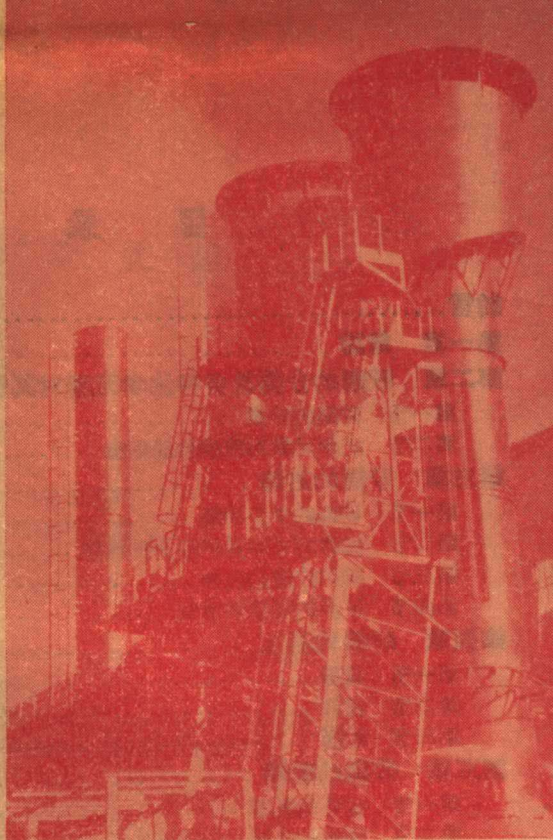


鋼鐵工業叢書



破鋼的生產與檢驗

謝玉鳴編著

科技衛生出版社

中国工业产品图



碎石的生产和检验

周士华编著

中国工业出版社

內 容 提 要

矽鋼是比較不容易生产的鋼种之一。为了满足国内强电工業和电器工業的需要，各有关單位都正在进行 着 用 平 爐、电 爐、轉 爐 及 土 法 坩 鍋 爐 試 制 中。本書是上鋼三厂矽鋼生产的实际經驗和参考有关文献編写而成，对矽鋼的特点、性能、生产工艺、成品檢驗等，叙述得十分全面，可供矽鋼生产工作者参考。

鋼鐵工業叢書

矽鋼的生产与檢驗

編 著 者 謝 玉 鳴

科 技 卫 生 廣 社 出 版

(上海南京路 34 号)

上海市書刊出版業登記證出 093 号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海发行所总經售

開本 787×1092 耗 1/32 • 3 張 2 3/8 • 字數 55,000

1958 年 10 月 第 1 版

1958 年 10 月 第 1 次印刷 印數 1—20,000

統一書号：15 · 998

定 价：(9) 0.26 元

目 录

前言.....	1
第一章 緒論	2
第二章 矽鋼的分类及各种化学元素对其性能影响	5
第一节 矽鋼的分类	5
第二节 化学元素对矽鋼性能影响	6
第三章 矽鋼的冶炼	15
第一节 矽鋼的平炉冶炼	15
第二节 硫磷的去除及炉后去硫操作	24
第三节 轉炉矽鋼的吹炼	30
第四节 矽鋼的电弧炉冶炼	34
第四章 矽鋼的澆注	40
第一节 鎮靜	40
第二节 澆注	41
第三节 脫模	44
第五章 矽鋼的軋制	45
第一节 板坯的軋制	45
第二节 鋼板的軋制	48
第三节 剝离和冷軋(平整)	52
第六章 退火与酸洗	54
第一节 退火	54
第二节 脫碳	57
第三节 酸洗	59
第七章 檢驗与保管	61
第一节 电磁性能檢驗	61
第二节 脆性檢驗	70
第三节 表面质量檢查	72
第四节 晶粒度测定及时效檢驗	74
第五节 保管	74
参考文献	

前 言

在党发出我国的主要工业要在十五年或更短的时间内赶上或超过英国，特别是党的中央政治局扩大会议发出全党全民为今年生产1,070万吨鋼而战的号召以后，各企业、合作社以及学校、机关都大搞炼鋼，并动手試炼矽鋼和軋成鋼板解决机电工业的原料缺乏。为了满足各单位对矽鋼生产方面資料的缺乏和需要，匆促中将我们的生产經驗，发现的問題，綜合其他单位和文献的資料編成此书以供大家参考。

由于本书在匆促中完稿，其中不免有錯誤和缺点，希同志们指正。

第一章 緒 論

随着强电工业和电器工业的发展，它需要的内部生产材料，一天比一天要求得更多和更迫切了，矽鋼片的生产，就是为充分保证强电工业等所需的内部生产材料而生产的。

矽鋼的生产，比较困难，是比较难生产的鋼种之一。尤其变压器矽鋼的生产，在性能上，直到现在还没有完全研究清楚，因为这种鋼的生产，在技术要求上是和其他鋼种的鋼有所不同，对一般鋼号的鋼来说，如结构鋼(用于建筑方面的)，只要抗張强度、延伸率、断面收缩等机械性能；而矽鋼呢？它主要要求是电磁性能(磁感应强度和鉄心损失)，对机械性能的检查，仅检查其脆性而已。同时由于冶金工作者对于电机和变压器的设备没有很好的概念，也带来了不少麻烦。只有当清楚地了解电机和变压器对矽鋼片的要求后，才能使生产出来的鋼板完全合乎使用者的要求。

电机或变压器生产部门对矽鋼片的要求，首先是要求平整光滑，厚薄均匀；因为当矽鋼片冲压成圓片套在軸上用来作轉子或者用作定子时，如果鋼板不平，有波浪形，这样不但容易擦坏绝缘纸，形成短路，也会因此造成电机发生过热而烧毁的毛病；对变压器說也一样，如果鋼板不平，容易发生渦流使绝缘不良，所以对鋼板的公差、弯曲度等在标准上都有一定的规定。

此外鋼板如果厚薄不均匀，当作成轉子后，不但会造成轉

子在运转时得不到均衡的转动，也由于这种不均衡转动引起的反复跳动结果，增大了轴瓦的磨损。另外也不利于绝缘。即使设法将两端压紧，也成为一种楔形的怪物，影响外貌且导致电机在安装过程中的不便。

如果钢板表面不光洁，有氧化铁皮或偶而掉有油滴，前者会妨碍粘纸，后者假使不进行酸洗去除，当转了运转后，温度升高，油滴变成了气体，将破坏绝缘造成发生烧毁电机事故。因此只有了解了使用者对矽钢片的要求后，才能生产出更多的电磁性能良好和表面质量优等的产品，以满足使用部门的要求。

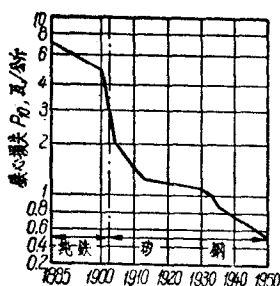


图1 变压器矽钢铁心损失逐年改进情况

求。

在矽钢片未发现前，制造电机等都以普通纯铁轧成片状作成的，结果机器体积很大，要求电流也大，且容易引起其他问题，矽钢片生产后，改变了这种面貌，且随着现代工业的要求，它的性能也逐年地得到改善（图1）。

矽钢片的真正开始生产，应该说是在1905年，因为在1902年虽然已经发现了矽合金对导磁率、电阻、矫顽力等的影响，也轧成薄板作成电机和变压器，但对它的结晶条件、脆性、退火等问题当时并未搞清楚，亦未推广到生产上，因此矽钢的生产还不过五十几年的历史。而我国矽钢片的生产，还只是解放后的事。

1953年我国在苏联专家的帮助下，开始在太原试炼矽钢，到1955年方才生产出第一批性能良好的矽钢片，因此它的生产，基本还是处于摸索中，因此所有矽钢生产工作者，应该相

互交流經驗，共同努力以进一步提高性能，更好地滿足强电工业的需要。

矽鋼片的生產，大致可分為以下幾個步驟：1. 矽鋼冶煉——平爐、轉爐、電爐；2. 板坯軋制；3. 軋成鋼板；4. 剝離和冷軋(平整)；5. 退火；6. 酸洗；7. 電磁性能檢查及分類。

以上各工序除電磁性能檢驗外，每一環節工作進行良好與否，都將直接或間接地影響着矽鋼片的性能。

第二章 矽鋼的分类及各种化学元素 对其性能影响

第一节 矽鋼的分类

凡矽含量大于0.5%的炭素鋼，我們统称其为矽鋼，这是因为在这种鋼中，矽的含量，对鋼質上占有特殊地位的緣故。但作为电机矽鋼或变压器矽鋼，其矽含量都在1.0%以上，最低也不小于0.8%。

矽鋼的特点就是鉄損低，磁感应强度大，随着含矽量、磁和电的性能的不同，它可分为：

010, 011, 012, 021, 031, 034, 0310, 0320, 0330, 0340, 0370, 041, 042, 043, 044, 045, 046, 047, 048。

符号中的“0”即表示电气工业用鋼，第一位数字（1、2、3、4）表示鋼的含矽程度，1为低級合金鋼，2为中級合金鋼，3为高級合金鋼，4为超級合金鋼。

第二位数字（1、2、3、4、5、6、7、8）表示鋼片所保証的磁性能：1、2、3表示在50周波反复磁化时鋼片的单位鉄心損失，和强磁場中的磁感；4为在400周波反复磁化时的单位鉄心損失和中磁場的磁感；5、6表示弱磁場中的导磁率；7、8为中磁場中的导磁率。

第三位数字（0）表示冷轧之意。

现将常見的几种矽鋼的化学成分列如表1：

表 1

鋼 号	成份%	C%	Mn	S	P	Si
Q11①		<0.12	0.15~0.35	<0.040	<0.050	1.00~1.40
Q12①		<0.10	0.15~0.35	<0.035	<0.045	1.00~1.40
Q13①		<0.10	0.15~0.35	<0.030	<0.045	1.00~1.40
Q21①		<0.10	0.25~0.45	<0.035	<0.045	1.40~2.00
Q31		<0.08	<0.25	<0.010	<0.025	3.10~3.75
Q31①		<0.10	<0.30	<0.025	<0.030	3.30~3.75
Q41		<0.08	<0.20	<0.010	<0.020	4.21~4.5
Q41		<0.06	<0.15	<0.006	<0.015	4.21~4.5
Q41		<0.06	<0.15	<0.006	<0.015	3.85~4.2
Q42		<0.06	<0.15	<0.005	<0.015	4.25~4.5
Q42		<0.06	<0.15	<0.005	<0.015	3.95~4.2
Q41①		<0.09	<0.30	<0.025	<0.030	3.76~4.25
Q41①		<0.07	<0.25	<0.020	<0.025	3.95~4.25
Q42①		<0.07	<0.20	<0.015	<0.025	3.95~4.25
Q11②		<0.10	0.15~0.35	<0.040	<0.080	1.00~1.40
Q12②		<0.08	0.15~0.35	<0.035	<0.080	1.00~1.40
Q21②		<0.08	0.25~0.45	<0.035	<0.080	1.40~2.00

注 ① 为平爐鋼 ② 为轉爐鋼。

第二节 化学元素对矽鋼性能影响

各单独元素对矽鋼性能的影响，可分为有利元素与有害元素两大类：

(一) 有利元素(即能降低矯頑力，改善磁性的)

(1) 矽：

矽是矽鋼的主要成分，它的存在能降低鉄損，增加磁感强度，含矽量越高，鉄損也就越低，这点早在1901年英国学者巴利(Barret)等在实验室研究各种不同合金的物理性能时就

发现了。但当砂的含量增高后，影响着钢的塑性逐渐下降，因而限制了它的无限增加^①，在现在生产条件下，最高含砂量为4~5%。如含砂4.5%的钢，当轧成0.5公厘的钢板时，由于其脆性大，废品率就很高。尤其是冷轧，因为砂高后，金属变形的抵抗力增加，在轧含砂4%的钢时，其单位压力比轧制砂1%时要大4倍。如某厂经验，在轧制砂3.19%时，轧机的发动机负荷比轧砂2.75%时大25倍。冷轧变压器砂钢，当砂含量增加到3.9%，它的延伸率就从17.5%降低到5%，能量消耗由于砂含量高后，金属范性变坏而增加，因此用增加钢中含砂量的方法，企图减低单位铁损就必须要与该元素对金属范性影响相协调。

而依近代真空冶金的技术发展，利用真空冶炼（1~10毫米水银柱，最好能更低）的含砂高达4~12%的变压器钢，轧成0.32、0.20和0.08毫米的钢板并没有困难，但以此方法冶炼提高其塑性，在设备上及大批生产中，有其一定困难。

砂对电机或变压器砂钢来说，它能促进晶粒增长，对这种钢来说，其晶粒度要求越大越好，与一般结构钢的要求是截然不同的，这是因为晶粒大了，可以大大地减少晶粒边界，也即减少了当电流通过时产生对磁通的阻力，铁损也因之得到降低，所以要求其晶粒度最好为1级（1~8级的标准）。但晶粒大后将不利于轧制，因之砂钢压延时希望其晶粒小些，以免轧裂。

由于砂高要使钢质变脆，硬度增加，给冷加工带来不利条件，所以剪断高砂钢的板坯带钢，就必须在不低于200°C的温度

① 在近代有加入稀土元素如Ce（铈）来改善热加工性能和消耗热脆的。

度下进行。为此当試驗鋼板脆性时，也应在規定温度下进行，否則会产生夏天試驗时脆性良好，而到冬天就不合格的現象。此外，冲压加工时，也应采用加热后进行，以提高合格率。

矽也是很好的脫氧剂，它和鋼中氧接合成 SiO_2 ，排出有害气体氧，但含矽高后，易使鋼板生銹，給运输和儲存工作带来了許多不便，因此矽鋼片的运输必須用棚車，存放必須堆放在屋內，否則会造成大量的生銹，正由于这样，所以我们也不希望儲存处温度有很大的变化，因为温度变化一大，板面的水分蒸发后也要引起生銹。

矽也可以减少时效程度，电机鋼板，尤其是变压器鋼板的时效少，就是这个原因，矽含量愈高，时效硬化后的鉄心損失增加值就愈少。

由于含矽的原因，致使变压器矽鋼几乎沒有临界轉变点，而只有居里点和液相固相的轉变点；含矽达 2.5% 以上时，加热就不能改善晶粒組織，同时也沒有二次結晶，因此二次加热并不能改变其性能。

此外当矽含量高后，导热性能就变差，因此加热时不能采用快速加热，而要长时间的慢慢地加热，不然会在加热过程中产生开裂穿孔等現象，尤其在 600°C 以前加热速度一定要緩慢。这种現象，也会在炼鋼的澆注过程中因鋼錠受到打风快冷或采用澆水冷却时产生，不过利用这一現象，我们可用来清理鋼錠尾部的湯道，使它經水澆后，用錘子輕輕一打而得到清理，但也带来了如中心注管未及时吊走，由于內部发裂而倒下，影响安全。

矽还能促进鋼中碳的石墨化，由于碳石墨化后成点状存在于晶粒中，可以降低碳的坏作用。

矽含量与减小渦流損失的程度上是成正比的，这是由于矽含量高后，增大了电阻之故。但矽含量增加后会导致磁导磁率的降低，但由于它能降低鉄損，因此它的性价比应该以降低鉄損为主要依据。同时(如图2)可以知道变压器鋼片在600~750℃退火在磁場中冷却，最高导磁率可从6,000升高到16,000(高斯/奥斯特)。

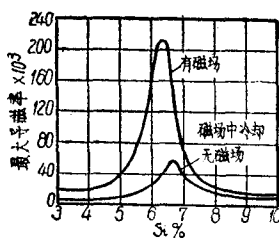


图2

若经过一次预先6小时在1,100℃ H_2 中退火，完成退火在磁場中进行，最高导磁率升高到22,000(高斯/奥斯特)。

特)。

(2) 鋁:

鋁的影响和矽相似，如果不加矽，只加鋁也是一样的，不过它的加入量要大大增加，且加鋁要比加矽困难得多。由于澆注过程中加入大量鋁后，鋼水会变稠，将給澆注工作带来困难，此外鋁的价格比矽貴。目前一般变压器矽鋼其含鋁量总在0.06~0.14%之间，根据研究結果，在此含量范围内可大大地改善了鋼的性能和塑性。

至于加鋁是否有效，还得看退火温度来决定。如果加鋁的矽鋼，其退火温度在840~850℃进行①，是有效的；若退火温度提高，采用1,000℃的高温退火，由于不能消除大气的影影响，不可避免地要使鋁变成三氧化鋁(Al_2O_3)，因为它非磁性物质，非但没有效果，相反地还要导致磁性变坏。

鋁的存在对抑制氮的为害性，起着重要作用，我们在經驗

① 德国学者认为含鋁的矽鋼应在790~830℃退火，鋁可使渗碳体石墨化。

中知道，在矽鉄合金中加鋁，它能抑制氮原子的不良作用，且易使再結晶的顆粒增大，所以对冷軋矽鋼中稍許加些鋁会使方向的再結晶顆粒良好地发展。

此外依近代的研究結果，尤其是波左斯 (R. M. Bozorth) (H. J. Williams) 等的建议，以整个或部分用鋁代矽，可得到良好性能的变压器鋼，在英国已很好地選擇了含鋁 0.5~1.0% 的变压器鋼，在德国也常常加入 0.5% 鋁。2.5% 矽和 0.5% 鋁的矽鋁鋼是一种性能良好的变压器矽鋼的新鋼种。

(3) 磷:

磷对矽鋼性能的影响，說法不一致，对含矽 4% 的鋼，有人认为全部磷能降低鉄損，但也有认为含磷 0.005~0.020% 对性能也有害，也有认为即其含量达 0.06%，对矽鋼的性能也并无影响，现将磷鉄的性能与含矽 4% 的鋼板性能比較列如表 2:

表 2

名 称	最大导磁率 μ_m	磁通的密度 (在 μ_m 时)	渦流損失 (瓦/公斤) 50 周波
0.7~0.8% 磷鉄	15,000	10,000	0.64
4% 矽鋼	8,000	6,000	1.06

另外，依我们从含磷 0.092% 及 0.055% 的轉炉 311 热轧矽鋼的檢驗中也发现到磷含量是有助于电磁性能提高的。如表 3:

表 3

爐 号	P %	P $^{10/50}$	P $^{15/50}$	备 注
A	0.092	2.33	5.48	860°C 密封退火，保温 4 小时， 总退火时为 16 小时。
B	0.055	2.49	5.88	

但磷含量高后要使冷加工性能变坏。

(二)不利元素

(1)碳:

碳对砂鋼來說,是一个最有害的元素,最好能生产不含碳的砂鋼。因为碳的存在,会使导磁率降低,矯頑力增高,虽然如此,我们还不能单纯从碳含量的高低来决定砂鋼的性能好坏(指其他成分相同,純淨度一样的条件下而言),还得决定于碳在砂鋼中存在的形态。

碳在砂鋼中总不外乎以下三种形态存在着: 1.溶解在 α -固溶体中, 2.以游离渗碳体组织存在; 3.石墨形态存在。

依研究結果,认为碳如果以片状渗碳体存在于晶粒内部,将显著地增高砂鋼的矯頑力,若分布在晶粒内部的片状渗碳体得到石墨化,則显著地降低了矯頑力;同时沿晶界析出的片状渗碳体,其危害性也不如在晶粒内部分布时的那样显著地增高砂鋼的矯頑力。

碳以固溶体形态溶解在 α -固溶体中,它的危害性最小,以碳化物形态存在时,害处最大。因此当砂 4%时,碳在砂鋼中的含量最好不超过 0.08%C。

表 4 为在分解的氮中退火后在箱中重复退火,矯頑力和碳
表 4

在分解的氮中退火			在箱中的重复退火		
矯頑力	C %	碳存在形态	矯頑力	C %	碳存在形态
0.38	0.015	碳以粗大渗碳体形态沿晶界存在	0.54	0.012	渗碳体在晶粒内部或沿晶界存在
0.36	0.017		0.52	0.013	
0.35	0.019		0.50	0.015	
0.36	0.019		0.52	0.012	

的形态关系:

(2) 硫:

硫由于它以 FeS 形态存在于钢中, 会造成机械加工时的热脆性, 对砗钢来说, 硫以 FeS 形态的存在, 使晶粒变形而影响其性能, 因为硫高后使晶粒变细, 晶粒数目增加, 也增多了晶粒边界, 结果引起电磁性能的下降。

因此去硫工作成为砗钢冶炼过程中的主要任务, “硫”也成为除易削钢外, 变为其他任何钢种都不欢迎的元素。

硫含量与晶粒数的关系见表 5:

表 5

S %	晶粒数/公厘 ^a
0.006	50
0.022	60
0.040	100

但也有些学者认为硫含量在 0.0150.~030% 范围内, 其影响并不大。虽如此, 我们仍要求其含量愈低愈好。

(3) 锰:

锰对磁滞损失影响很小, 锰的影响可用下列公式表示:

$$P_{10} = 800 \times \text{Mn}\%$$

Mn%——钢中锰的含量。

一般认为含锰 0.15% 时, 并不影响砗钢性能, 也有认为即使其含量在 0.30% 也无影响, 但当增加其含量会使导磁率减少, 当含量为 25~30% 时, 几乎变成无磁性。

(4) 铜:

銅的因素，目前說法很不一致，在美國，為了防止生銹，就利用鋼中有一定量的銅含量時，能增加鋼的抗腐性能之特點，故意使矽鋼中銅的含量增至0.5%，他們認為銅含量在0.5~0.6%時是沒有影響的。但歐洲各國都認為銅的存在對矽鋼的電磁性能是不利的。

銅的含量是不能太高的，因為當其含量超過0.5%，它將以單相夾雜存在於鋼中，這種單相夾雜物的存在要使矽鋼的性能變壞，因此，我們一般只允許它的含量在0.20~0.30%左右，不能太高，最好還是沒有。

(5) 鉻：

鉻是一種很易與碳形成碳化物的元素，且很難去掉，它的存在要影響電磁性能的降低，使鋼的性能變壞（見圖3），所以我們要避免它的加入，當鉻<0.08%以下，它的壞影響方不顯著。

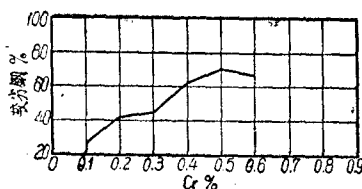


圖3

(6) 錫與砷：

錫與砷兩者的作用基本相似，都可溶於固溶體內，且溶解度很大，如錫，它一直可溶解到6.8%。一般認為錫也有與砷一樣的作用，可以增加電阻，降低鐵損。但由於怕它們以單相形式存在，造成矽鋼性能上的磁滯損失增加，所以對這二元素，在爐料中不允許其夾入。

(7) 氧：

氧是有害元素，它對磁性的影響見圖4，一般認為當其含量在0.0029%以下時影響才不大，但對它的研究卻並不徹底。