

文章编号:1006-852X(2005)02-0047-03

$\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ 真空氮化炉三相负载不对称时的功率分析

肖俊明¹ 江世璟¹ 王爱珍²

(1. 中原工学院 郑州 450007; 2. 郑州磨料磨具磨削研究所, 郑州 450013)

摘 要 本文对氮化硅结合碳化硅($\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$)制品烧制生产过程中,真空氮化炉三相负载由于支路断路造成三相负载不对称时的相电压和功率进行了分析和计算。对常见的故障,提出了继续升温完成氮化烧成,产品出炉后再更换元件的经济有效的应对措施。为 $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ 制品绿色生产提供了理论依据。

关键词 氮化硅结合碳化硅;氮化炉;负载;不对称;功率

中图分类号 TH6 **文献标识码** A

Analysis on the Power of Asymmetric Three Phase Load in $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ Vacuum Nitriding Kiln

Xiao Junming¹ Jiang Shijing¹ Wang Aizhen²

(1. ZhongYuan Institute of Technology, Zhengzhou 450013, China)

(2. Zhengzhou Research Institute for Abrasives & Grinding, Zhengzhou 450007, China)

Abstract In this paper analysis and calculation were made on the phase voltage and power when three phase load asymmetry occurs because of branch circuit break in the vacuum nitriding kiln for $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ articles sintering. For common troubles, namely single branch break in one phase, the authors suggest to continue and complete the nitriding sintering, and change the electrical elements after the articles quit the kiln. This provides economic and efficient means and theoretical base for the green manufacture of $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$ articles.

Keywords $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiC}$; nitriding kiln; load; asymmetry; power

1 前言

氮化硅结合碳化硅是在硅酸盐结合相的基础上发展起来的高级耐火材料,它是 1955 年美国 Carborundum 公司研制成功并申请了专利^[1],1960 年日本 TKR 从美国引进了该相技术并获得了成功的应用^[2]。二十世纪八十年代中期,我国的科研单位、高等院校才开始对此技术进行研究及中试推广应用,其产品已广泛地应用于冶金、砂轮、陶瓷、电瓷等领域,为我国节省外汇替代进口推动科技进步作出了较大的贡献。

氮化硅结合碳化硅制品制造的关键技术之一是氮化烧成工艺,要求产品在氮化炉中采用预抽真空并能充微正压氮气,在整个过程中炉子要防止氧气的进入,否则会破坏金属硅的氮化,影响产品质量。但是在实际生产过程中,往往会遇到在氮化烧成的高峰期,三相负载出现个别电热元件损坏,造成一相或多相的支路断路,致使整个三相负载处于不平衡状态,加热功率也

随之降低。通常人们的做法是只要有电热元件损坏,不管是一相还是两相,就要吊起炉盖更换电热元件以恢复原有加热功率。更换过程需要较长的时间,主要是等到炉温降至金属硅反应温度以下才能进行,以防止高温时氧气进入炉内影响产品质量,这样严重影响了正常生产。本文根据现场运行的经验,重点分析星形连接的三相负载的一相或两相部分支路出现断路造成三相负载不对称时,计算出它的相电压、功率,对氮化炉是否继续完成氮化烧成或是停炉降温更换电热元件提供了理论根据,对生产过程具有较好的指导意义。

2 氮化炉的结构及主要技术参数

2.1 基本结构

氮化炉采用单开门,轨道式双窑车,局部水冷结构,炉外壳包括门墙、底墙、左右侧墙、后墙及炉盖等六个面密封焊接成长方形,其中炉门及炉盖为可开启

式,采用橡胶密封,具有抽真空和充氮气两种工作状态。

2.2 主要技术参数

炉体外壳尺寸: 5642 × 2844 × 3000mm

有效容积: 4m³

极限真空压力: 500Pa

最高氮气压力: 0.05MPa

最高工作温度: 1550℃

变压器容量: 400kVA 输入: 380V 723A

输出: 0-420V 550A

电热元件: 60 支 Ø9 / Ø18 冷 700 × 热

700mm 硅钼棒

设计最大加热功率: 333kW

实际需要最大功率: 266kW

3 三相负载状态分析

3.1 三相负载对称时

三相负载是由 60 支硅钼棒组成三相星形连接,每相由两个支路并联形成,即每 10 支硅钼棒串联形成一个支路,与另外 10 支串联形成的支路并联组成一相,见图 1。每支硅钼棒的额定参数为:电压 22.1V、电流 250A、电阻 $r_1 = 0.088\Omega$,所以每个支路的电阻 $R = 0.88\Omega$ 。因为三相负载对称,所以中性点 $U_N = 0$,负载需要的额定相电压 $U_{AN} = U_A = U_{BN} = U_B = U_{CN} = U_C = 221V$,变压器提供的线电压为 $\sqrt{3} \times 221 = 383V$,相量图见图 2 所示。

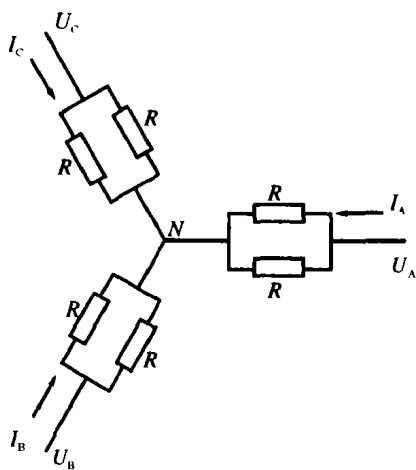


图 1 三相负载连接图

负载输出的最大功率 $P = 3 \times 2 \times \frac{U_{AN}^2}{R} = 333kW$,因为考虑余量为 20%,所以当负载能输出功率 $80\% \times 333 = 266kW$ 时,就完全可以满足氮化烧成过程的要求。

3.2 一相的一个支路断路

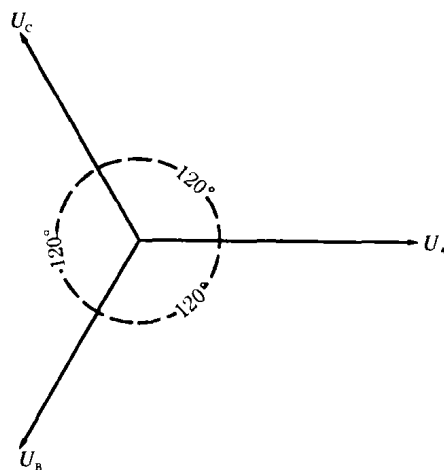


图 2 三相负载对称时相量图

当一相如 U_C 相的一个支路断路时三相负载不再对称,中性点 N 将位移至 N' ,其相量图见图 3 所示。

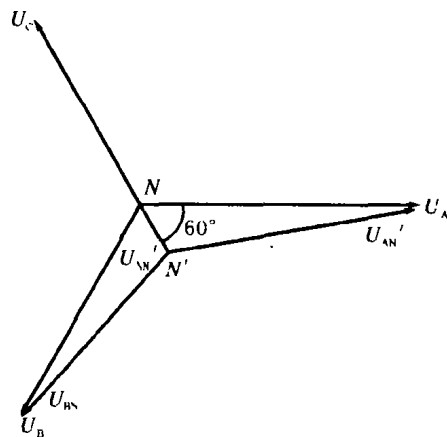


图 3 U_C 相一个支路断路时相量图

由于 $I_A + I_B + I_C = 0$

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

所以 $(U_A - U_{N'}) \div \frac{R \times R}{R + R} + (U_B - U_{N'}) + \frac{R \times R}{R + R} + (U_C - U_{N'}) \div R = 0$

即 $U_{N'} = -\frac{U_C}{5}$,由此看出 N' 的位移量为 $-\frac{U_C}{5}$,

$$U_{NN'} = \frac{1}{5} \times 221 = 44.2V$$

$$\text{相电压 } U_{CN'} = \left(1 + \frac{1}{5}\right) U_C = 265.2V$$

$$U_{AN'} = U_{BN'} = \sqrt{U_{AN}^2 + U_{NN'}^2 - 2U_{AN}U_{NN'}\cos 60^\circ} = 0.916 \times 221 = 202.5V$$

$$\text{功率 } P_1/p = 2 \times \frac{U_{AN'}^2}{R} + 2 \times \frac{U_{BN'}^2}{R} + \frac{U_{CN'}^2}{R} = 266.3kW$$

$$P_1/p = 266.3/333 = 80\%$$

当 U_C 相的一个支路断开后(此现象现场出现的最多)整个三相负载不对称,相电压 $U_{CN'}$ 是原来的 1.2 倍, $U_{AN'} = U_{BN'}$ 是原来的 0.916 倍,三相负载输出的功

率为 266.3kW, 是未断开的 80%, 为了不影响正常生产, 继续运行完全能完成整个氮化烧成过程, 当产品出炉后再更换电热元件。

3.3 两相负载各断一个支路

当在运行中如 U_B 、 U_C 相各断一个支路时, 三相负载不对称, 中性点 N 将位移至 N' , 其相量图见图 4。由于 $I_A + I_B + I_C = 0$

$$U_A + U_B + U_C = 0$$

$$\text{所以 } (U_A - U_{N'}) \div \frac{R \times R}{R + R} + (U_B - U_{N'}) \div R + (U_C - U_{N'}) \div R = 0$$

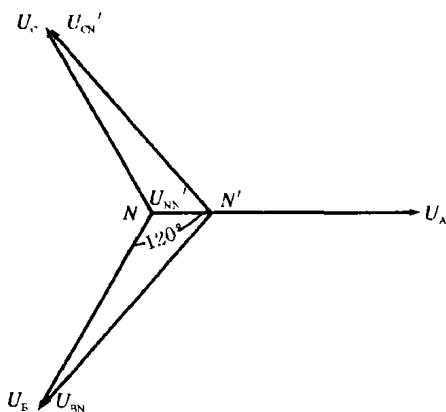


图4 U_B 和 U_C 相各断开一个支路时相量图

$$\text{即 } U_{N'} = \frac{U_A}{4}, \text{ 由此看出 } N' \text{ 的位移量为 } \frac{U_A}{4}, U_{NN'} = \frac{U_A}{4} = 221 \div 4 = 55.25V$$

$$\text{相电压 } U_{AN'} = 0.75 \times U_A = 0.75 \times 221 = 165.8V$$

$$U_{BN'} = U_{CN'} = \sqrt{U_{CN}^2 + U_{NN'}^2 - 2U_{CN}U_{NN'}\cos 120^\circ} = 1.14 \times 221 = 253V$$

$$\text{功率 } P_2 = 2 \times \frac{U_{AN'}^2}{R} + \frac{U_{BN'}^2}{R} + \frac{U_{CN'}^2}{R} = 208kW$$

$$P_2 / P = 208 / 333 = 62.5\%$$

当 U_B 、 U_C 相各断一个支路时, 三相负载不对称, 相电压 $U_{AN'}$ 是原来的 0.75 倍, $U_{BN'} = U_{CN'}$ 是原来未断开时的 1.14 倍, 三相负载输出的功率为 208kW, 是未断开时的 62.5%, 此时没有能力完成整个氮化烧成过程, 只有将炉温降至氮化反应温度之下, 吊起炉盖更换电热元件。此现象现场出现的比较少。

3.4 三相负载各断一个支路

在运行中三相负载各断一个支路时, 三相负载保持对称, 三相相电压为 221V, 负载输出的最大功率 $P_3 = 3 \times \frac{U_{AN}^2}{R} = 166.5kW$ $P_3 / P = 166.5 / 333 = 50\%$

此时必须降温更换电热元件, 否则无法完成整个氮化烧成过程。此现象现场出现的很少。

4 结论

(1) 在氮化硅结合碳化硅制品烧成过程中, 出现较多的是三相负载中的一相的一个支路断路, 此时三相负载不对称, 断开相的相电压为正常值的 1.2 倍, 而另两相的相电压为正常值的 0.916 倍, 加热功率为正常值的 80%, 此时可以继续升温完成氮化烧成过程, 产品出炉后再更换电热元件。

(2) 当有两相负载各断一个支路时, 三相负载不对称, 这两相的相电压为正常值的 1.14 倍, 未断开相的相电压为正常值的 0.75 倍, 此时加热功率为正常值的 62.5%, 不能完成整个氮化烧成过程, 需要停炉降温更换电热元件。

(3) 当三相负载各断一个支路时, 三相负载虽然保持对称, 各相相电压也保持不变, 但此时加热功率为正常值的 50%, 不能完成整个氮化烧成过程, 需要停炉降温更换电热元件。

参考文献

- 1 肖俊明, 李志强, 刘铭等. Si₃N₄ 结合 SiC 窑具的生产及应用[J]. 中国陶瓷 1996(1): 19~21
- 2 肖俊明, 刘铭, 李志强等. 碳化硅窑具的现状及应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程 1998(2): 34~45

作者简介

肖俊明 男, 1960 年生, 河南省卫辉市人, 中原工学院副教授、高级工程师, 郑州市跨世纪学术带头人, 郑州市首届青年科技创业奖获得者, 长期从事电气及工程陶瓷的研究。

E-mail: xjm@zzti.edu.cn

(收稿日期: 2004-12-02)

(编辑: 王 琴)