

# 低压力压制的圆形电极

胡宗式, 李 渊, 杨 萌

(咸阳天成钛业有限公司, 咸阳 712000)

**摘 要:** 采用 35 MN 海绵钛压机在 230 MPa 的压力下, 压制密度为 3.15 g/cm<sup>3</sup>、尺寸为  $d440\text{ mm} \times 475\text{ mm}$ 、质量达 230 kg 的电极。

**关键词:** 海绵钛; 电极; 密度

中图分类号: TF804

文献标志码: A

## Circular electrode pressed under low pressure

HU Zong-shi, LI Yuan, YANG Meng

(Xianyang Tiancheng Titanium Industry Co., Ltd., Xianyang 712000, China)

**Abstract:** The electrode block with density of 3.15 g/cm<sup>3</sup>, dimension of  $d440\text{ mm} \times 475\text{ mm}$ , mass of 230 kg was produced by 35 MN oil hydraulic press under pressure of 230 MPa.

**Key words:** sponges titanium; electrode block; density

将海绵钛压制成电极是钛及钛合金熔炼的第一道工序。从熔炼的角度看, 要求电极的密度要高, 电极的截面积要大, 这样熔炼的效率更高。真空自耗电弧炉的坩埚是圆形的, 要求电极也是圆形的, 电极和坩埚内壁的间距是相等的, 放电是均匀的, 熔炼的铸锭表面更好; 圆形电极截面和坩埚内径的面积之比也大, 同样长度的电极, 质量更大, 一次熔炼锭的质量更大。在电极组焊时, 圆形电极更方便。长方形电极, 一套模具可以组装不同规格的电极。圆形电极所用的模具较多, 每一种规格一套模具, 这是圆形电极的缺点。按单位面积上的压力计算电极的尺寸, 压机的能力决定了电极的最大截面, 例如 35 MN 压机, 它的电极规格为  $d380\text{ mm}$ , 对应的坩埚为  $d440\text{ mm}$ 。天成钛业电弧炉的坩埚系列为  $d380\text{ mm}$ ,  $d440\text{ mm}$ ,  $d520\text{ mm}$ ,  $d620\text{ mm}$ 。想要生产  $d600\text{ mm}$  的二次锭, 一次锭的规格为  $d510\text{ mm}$ , 一次电极的规格  $d440\text{ mm}$ 。此时压力为 230 MPa(见表 1), 在通常情况下, 压强至少为 300 MPa, 在 230 MPa 下是不能压制的。为了生产能顺利进行, 必须用 3 500 t 压机, 压制  $d440\text{ mm}$  电极。

## 1 理论分析

海绵钛电极压制, 一般压制压强不小于 300 MPa, 电极的密度不小于 3 g/cm<sup>3</sup>。在实践中, 有的公司将单位面积上的压力定为 340 MPa, 密度大于 3.2 g/cm<sup>3</sup>。再提高单位面积压力, 密度增加有限。我公司使用的压机为 35 MN, 三梁四柱海绵钛电极压机。设有  $d320\text{ mm}$ ,  $d380\text{ mm}$  和  $d440\text{ mm}$  3 种规格的模具。表 1 列出 3 种规格电极所用压力。由表 1 可以看出  $d440\text{ mm}$  电极所用压力明显不足。设想用带锥度的模具达到电极成形的目的。

表 1 3 种规格电极所用压力

电极规格	最小压力/ MN	使用压力/ MN	单位压力/ MPa
$d320\text{ mm}$	24	26	323
$d380\text{ mm}$	34	35	308
$d440\text{ mm}$	45.6	35	230

图1所示为圆形电极模具的连续挤压的示意图<sup>[1]</sup>。俄罗斯某一工厂使用这样的方法，在国内还没有使用过。借用这样的结构，探讨用锥形模具，在单位压力不足的情况下，压制  $d440\text{ mm}$  电极。采用有限元方法对坯料的变形情况进行分析(见图2)。模具的直线部分直径为  $460\text{ mm}$ ，锥度结束时直径为  $440\text{ mm}$ 。由图3可见，在由边缘至中心  $1/5$  直径范围内，至少压缩  $6\text{ mm}$ 。主要的变形在外表面，这样在电极的外表面形成一个壳，厚度在  $30\text{ mm}$  左右。壳的部分密度较高，可以承受整个电极的质量。按俄罗斯的资料，海绵钛电极压制后电极的密度达到  $3\text{ g/cm}^3$  时，它的断裂强度为  $1.3\text{ MPa}$ (见图3)。按此计算如果在外层形成密度大

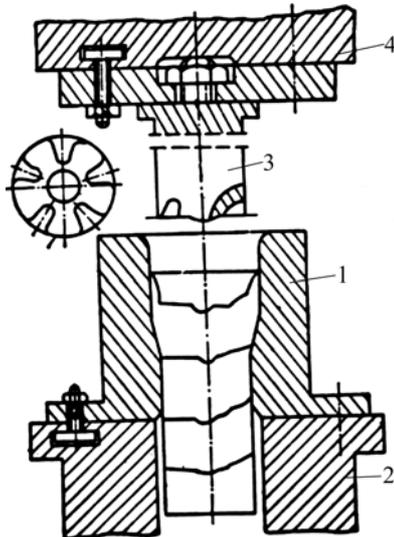


图1 圆形电极模具示意图  
Fig.1 Schematic diagram of circular electrode block mould

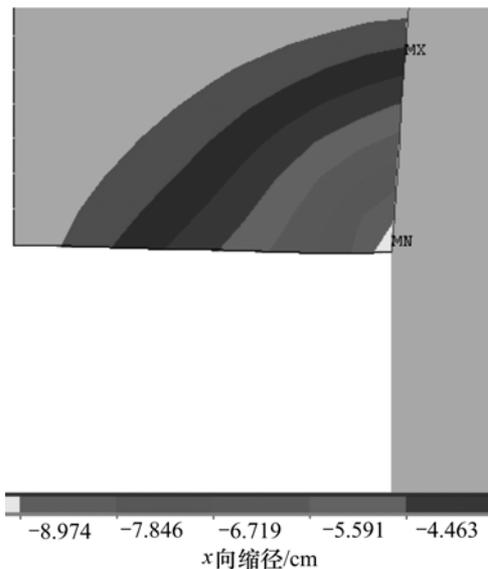


图2 电极变形区变形的有限元分析  
Fig.2 Finite element analyses of electrode deformation zone

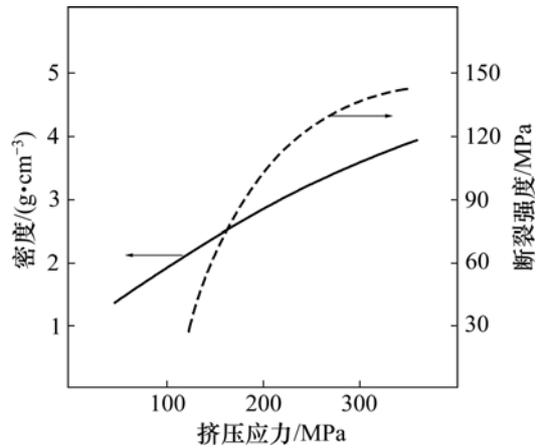


图3 电极块断裂强度、密度与挤压应力的关系  
Fig.3 Relationships among pressure, density and fracture strength

于  $3\text{ g/cm}^3$  的壳，厚度在  $3\text{ cm}$ ，那么，可以承受  $50\ 020\text{ N}$  的压力。

## 2 实验

利用  $d320\text{ mm}$  模具压制  $d320\text{ mm}$  电极，测量不同压力下电极的高度，计算出不同高度电极的密度。应用 Origin 6.0 软件得到  $d320\text{ mm}$  电极的密度和压强的关系如图4所示。得到回归方程为

$$y=y_0+A_1\exp(-x/t_1) \tag{1}$$

$$y_0=6.632\ 76, A_1=-5.273\ 45, t_1=572.044\ 69$$

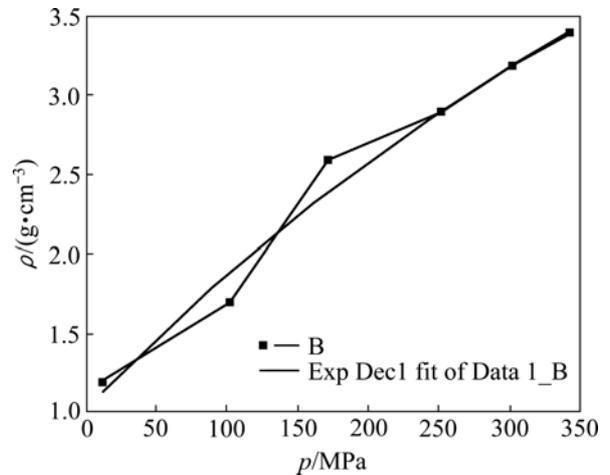


图4  $d320\text{ mm}$  电极压制压力与电极密度的关系  
Fig.4 Relationship between pressure and density of  $d320\text{ mm}$  electrode

$d440$  mm 电极模具上端的直径为 460 mm,下端的直径为 440 mm,高度为 1 000 mm。2 次装料 230 kg。压制后电极高度为 475 mm,电极的平均密度为  $3.15 \text{ g/cm}^3$ 。将压力 230 MPa 代入回归方程(1),得到密度为  $2.8 \text{ g/cm}^3$ 。压制后的电极密度整体提高  $0.35 \text{ g/cm}^3$ ,密度约增加 10%。说明电极经过锥度部分的变形,能提高电极的密度。从电极的端面看,有密度加大的壳层,其厚度约 30 mm。用 6 块电极焊接成 1 根长度为 2 850 mm,质量为 1 360 的电极,熔炼情况正常。

### 3 结论

采用带锥度的模具压制电极,在海绵钛电极的柱面形成密度加大的壳层,对电极起到加固的作用,既使内部密度较低,又不影响使用,从而实现在低单位压力下,压制较大截面的电极。

### REFERENCES

- [1] 稀有金属材料加工手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1984:370.

(编辑 陈爱华)