

# 柱齿钎头热嵌固齿工艺研究

王 晨, 刘馨丹, 李济安, 王 锋

白银恒诚机械制造有限公司, 甘肃 白银

收稿日期: 2023年2月15日; 录用日期: 2023年5月20日; 发布日期: 2023年5月29日

## 摘 要

本文从热嵌固齿工艺的研究入手, 对钎头体样品进行机械性能和硬度的测试, 确定材质的热处理工艺; 通过热膨胀系数的测试确定合金柱与齿孔的合理过盈量; 后续经过孔板热镶固齿过盈量及抱紧力的试验测定, 确定装齿温度; 通过矿山现场凿岩实验的验证, 确定了热嵌固齿工艺在矿山用钻头批量生产中的可行性。对比传统使用的冷压固齿和焊接固齿工艺, 采用热嵌固齿工艺进行固齿, 大大提高了凿岩用钻头的质量和寿命, 最终达到提高产品质量的目的。

## 关键词

热嵌固齿, 过盈量, 抱紧力

# Study on the Process of Hot Embedded Teeth of Cylindrical Bit

Chen Wang, Xindan Liu, Ji'an Li, Feng Wang

Baiyin Hengcheng Machinery Manufacturing Co., Ltd., Baiyin Gansu

Received: Feb. 15<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 20<sup>th</sup>, 2023; published: May 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In this paper, the mechanical properties and hardness of the drill bit body samples were tested to determine the heat treatment process of the material from the study of the hot embedded teeth process. The reasonable interference between the alloy column and the tooth hole is determined by testing the thermal expansion coefficient. Subsequently, the mounting temperature was determined by the test of the interference amount and the holding force of the hole plate hot embedded teeth. Through the verification of the rock drilling experiment in the mine site, the feasibility of the hot embedded tooth process in the mass production of the mine drill bit is determined. Com-

pared with the traditional cold pressing tooth fixing and welding tooth fixing process, the hot embedded tooth fixing process is used to fix the teeth, which greatly improves the quality and life of the drill bit for rock drilling, and finally achieves the purpose of improving product quality.

## Keywords

Hot Embedded Tooth, Wring, Holding Force

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

各国钎具固齿工艺均是由冷压固齿、热压固齿发展到热嵌固齿工艺,此工艺生产的柱齿钻头现处于世界最高工艺水平和最优质量等级,近几年在国内同行业中逐渐普及,是全面提升凿岩用柱齿钻头系列产品质量及稳定性的关键工艺技术[1]。常见的钎头固齿工艺有冷压固齿、热嵌固齿和焊接固齿。目前我公司钎具中心采用传统的冷压固齿和热压固齿工艺,产品工艺及质量的核心竞争力不高,为提升凿岩用柱齿钎头产品的质量及工艺技术,故针对热嵌固齿工艺进行了实验研究。本文通过热嵌固齿工艺中钎头与合金不同的过盈量及热处理工艺参数对球齿钎头使用寿命的影响,以确定最佳固齿工艺及参数,从而提高钎头综合机械性能及使用寿命。

## 2. 主要实验内容

### 2.1. 钎头体材质选择

性能要求:

- 1) 球齿钎头用钢的基本要求;
- 2) 在经过热处理后,钎头体硬度要达到 45~50 HRC 的要求;
- 3) 高的强度和机械性能的良好配合,保证高的固齿能力;
- 4) 要有一定的高温强度和热稳定性,保证使用时固齿强度;
- 5) 高的疲劳强度和耐磨性;
- 6) 对热嵌固齿的钎头用钢还要求有较高的线膨胀系数和回火稳定性,可以提高固齿温度和保证高的热固齿能力。
- 7) 容易软化退火和良好的切削性能、铰孔性能,光洁度等。

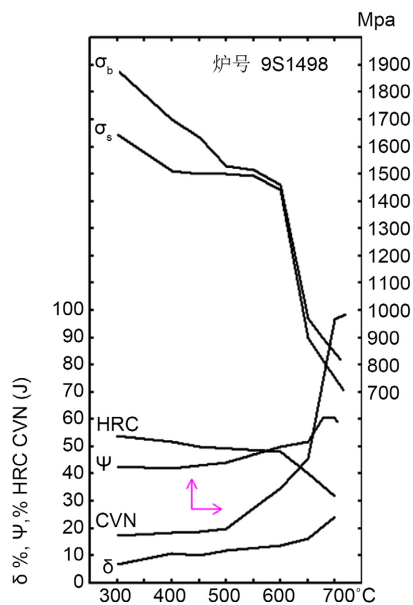
钎具中心采用 35CrMoV 钢和 40CrNiMoA 钢作为钎头用钢材料,但机械性能和耐磨性、热处理后钎体硬度、以及热膨胀系数与合理的过盈量要求等指标,强度和韧性达不到最佳匹配效果,不能全面提升钎头的整体效果。本次通过查阅资料和反复验证,我们确定了 45CrNiMo1V 钢这种材料[2]。45CrNiMo1V 钢均属于 Cv-Mo-V 系统的低合金超高强度钢,能够提高奥氏体化温度,提高抗回火稳定性,降低钢的回火脆性。该钢属高温回火索氏体钢,高温回火可得到很好的强韧性配合,具有较高的断裂韧性和应力腐蚀疲劳性能,同时有较强的二次硬化效应,在 600℃ 以下回火,回火硬度在 HRC47 范围内,具有高强度与韧性配合,使钎头体耐磨、保径好。并且该钢热膨胀系数较高,很适合钎头壳体与硬质合金柱齿热过盈固齿,满足此次研究项目的钎体材质要求。

根据表 1 和图 1，我们分析在 880℃油淬，500℃回火空冷的情况下，抗拉强度  $\sigma_b = 1538$  MPa，屈服强度  $\sigma_s = 1409$  MPa，伸长率  $\delta_5 = 45.0\%$ ，断面收缩率  $\Psi = 12\%$ ；综合各项机械性能和硬度达到最优。

**Table 1.** Q45NiCr1Mo1VA steel Mechanical properties after tempering at different temperatures

**表 1.** Q45NiCr1Mo1VA 钢不同温度回火的机械性能[3]

热处理制度	$\sigma_b$	$\sigma_s$	$\delta_5$	$\Psi$	CVN J/m <sup>2</sup>
	MPa		%		
880℃油淬，300℃回火	1878	1621	42.8	8	16.9
880℃油淬，400℃回火	1682	1500	38.6	10	16.7
880℃油淬，450℃回火	1607	1445	42.0	10	17
880℃油淬，500℃回火	1538	1409	45.0	12	20
880℃油淬，550℃回火	1530	1394	46.8	12.4	27
880℃油淬，600℃回火	1447	1357	49.0	13	33.2
880℃油淬，650℃回火	1311	1210	51.3	15	45.6
880℃油淬，680℃回火	971	896	60.0	20	81.5
880℃油淬，700℃回火	906	813	61.3	19	96.3
880℃油淬，720℃回火	851	696	59.0	23	98



**Figure 1.** Q45NiCr1Mo1VA steel Mechanical properties after tempering at different temperatures

**图 1.** Q45NiCr1Mo1VA 钢不同温度回火的机械性能[1]

## 2.2. 实验测试

实验目的是具体对样品的拉伸性能、洛氏硬度、冲击性能、金相组织及线膨胀系数进行验证并分析，从而确定适合凿岩用柱齿钻头热镶固齿工艺应用的热处理工艺参数。

### 1) 测试设备

金相显微镜、微机控制电液伺服万能试验机、电子数显卡尺、微机控制超低温自动冲击试验机、冲击实验缺口投影仪。

## 2) 力学性能分析

针对 45CrNiMo1V 材质  $\phi 60$  圆钢样品, 按照 880℃油淬、分别以 300℃\*1 h 回火、400℃\*1 h 回火、450℃\*1 h 回火, 得到如下表 2 结果。

**Table 2.** Table of mechanical property test results

**表 2.** 力学性能测试结果表

热处理工艺	拉伸性能				冲击性能(KU2, J)				洛氏硬度(HRC)			
	拉伸强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	断后伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	点 1	点 2	点 3	平均值	点 1	点 2	点 3	平均值
880℃淬火	--	--	--	--	--	--	--	--	56.5	56.6	56.2	56.4
880℃淬火、300℃*1 h 回火	1925	1705	10.5	48	29.5	32	30	30.5	52.6	52.6	52.1	52.4
880℃淬火、400℃*1 h 回火	1801	1549	11	47	30	29.5	30	29.8	51.6	51.6	51.6	51.6
880℃淬火、500℃*1 h 回火	1558	1401	12	48	30.5	32	32	30	51.8	51.5	51.3	51.5

通过性能分析可知, 经过 880℃淬火后, 采用不同的回火工艺, 力学性能差异较大, 300℃\*1 h 回火后硬度和强度较高, 400℃\*1 h 回火后硬度和强度次之, 500℃\*1 h 回火后硬度和强度再次之, 因此选择回火工艺则考虑 300℃、400℃和 500℃三个温度点。对于金属材料经过淬火后会存在较大的组织转变应力以及热应力, 通常需要回火工艺才可以降低这些内应力, 而温度越高、时间越长内应力释放程度越高, 因此综合考虑, 在硬度相近的情况下建议选择 500℃\*1 h。

## 3) 金相组织分析

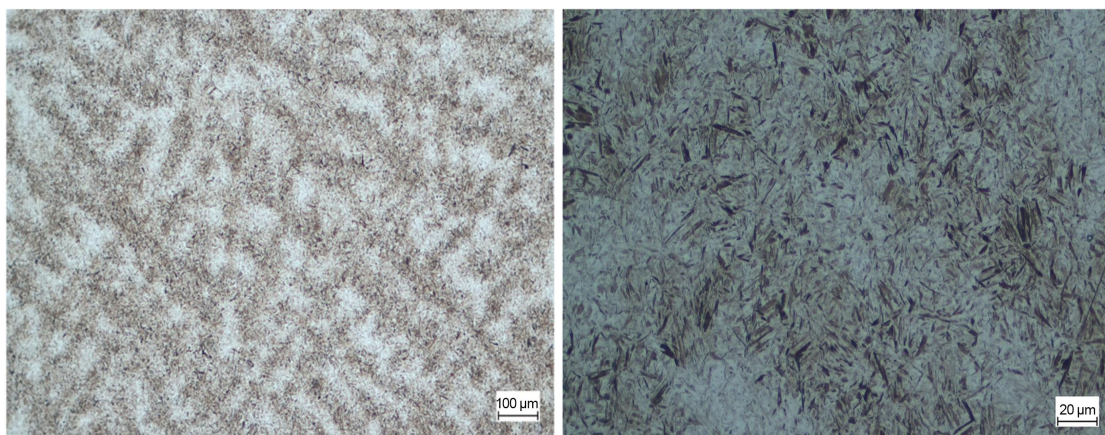
由金相组织可以看出, 回火屈氏体针状形态已逐步消失, 碳化物仍很细小, 回火屈氏体为尚未再结晶、由碳化物和  $\alpha$  相组成。其形态为铁素体薄层和渗碳层状交替叠压得复相物。而回火索氏体由等轴铁素体和细小状碳化物构成的复相组织, 其为铁素体基体内分布着碳化物球粒的复合组织。但回火屈氏体的片层间距较索氏体更小, 回火屈氏体的碳化物颗粒也较索氏体更加细小, 因此在机械性能上, 屈氏体硬度强度高于索氏体。因此综合考虑, 在硬度相近的情况下建议选择 500℃回火。综上所述(见表 3), 实验结果与理论分析相符, 在 880℃油淬, 500℃回火 1 小时空冷的情况下, 综合各项机械性能和硬度达到最优。满足热嵌固齿工艺及凿岩对钻头机械性能的要求。

**Table 3.** Table of metallographic structure analysis results

**表 3.** 金相组织分析结果表

热处理工艺	检测结果
880℃淬火	针状马氏体 + 板条状马氏体, 见图 2
880℃淬火、300℃*1 h 回火	回火马氏体 + 回火屈氏体, 见图 3
880℃淬火、400℃*1 h 回火	回火屈氏体, 见图 4
880℃淬火、450℃*1 h 回火	回火屈氏体, 见图 5
880℃淬火、500℃*10 min 回火	回火马氏体 + 回火屈氏体, 见图 6
880℃淬火、600℃*10 min 回火	回火马氏体 + 回火索氏体, 见图 7



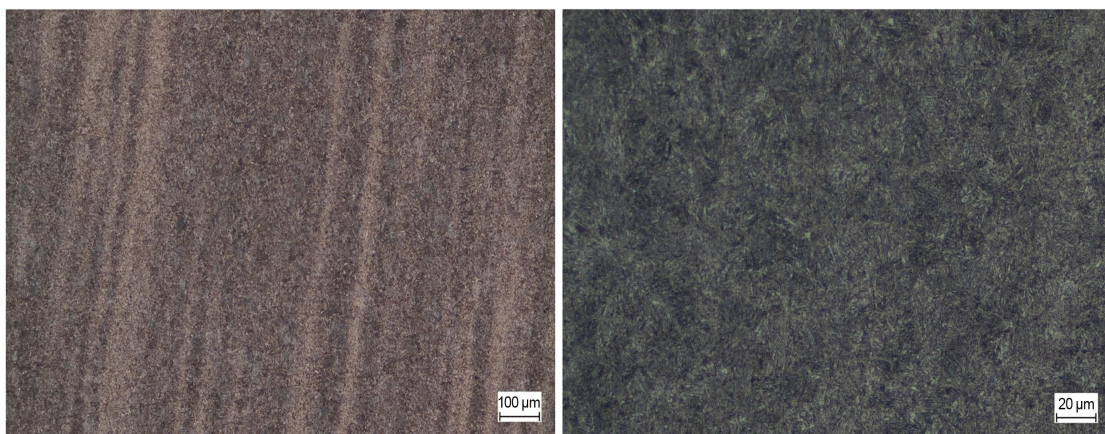


(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 2.** Metallographic structure after quenching at 880°C

**图 2.** 880°C 淬火金相组织

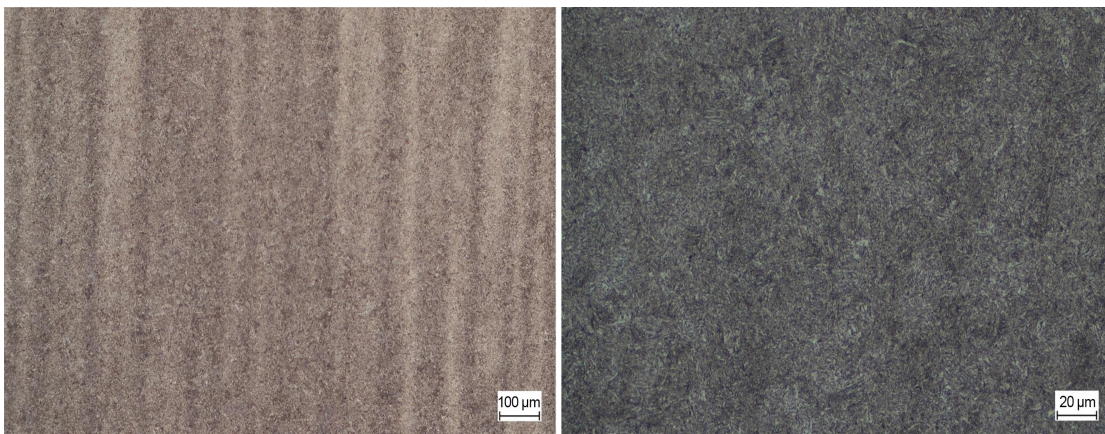


(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 3.** Metallographic structure after quenching at 880°C, 300°C\*1 h

**图 3.** 880°C 淬火、300°C\*1 h 回火金相组织



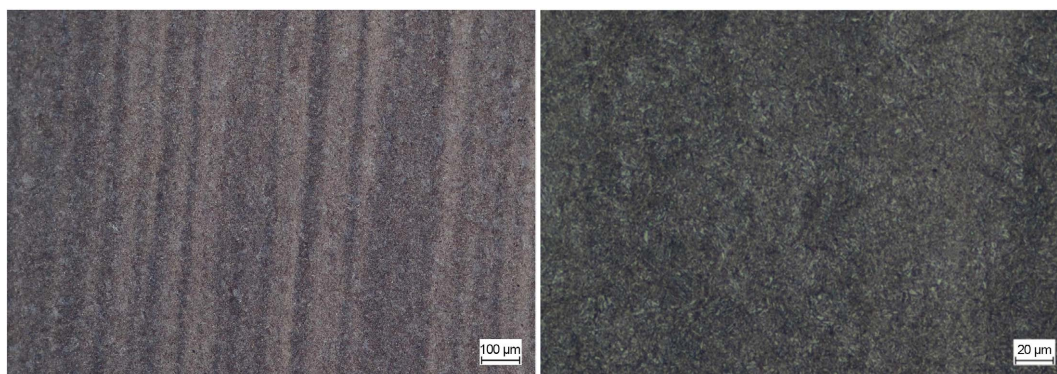
(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 4.** Metallographic structure after quenching at 880°C, 400°C\*1 h

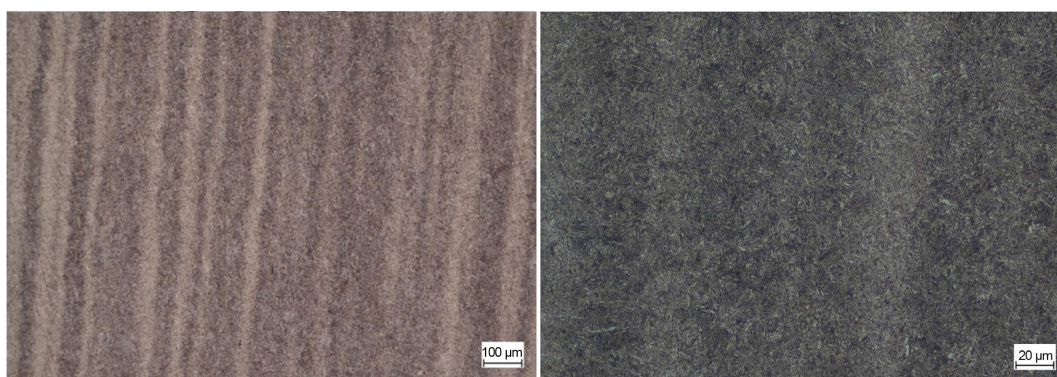
**图 4.** 880°C 淬火、400°C\*1 h 回火金相组织





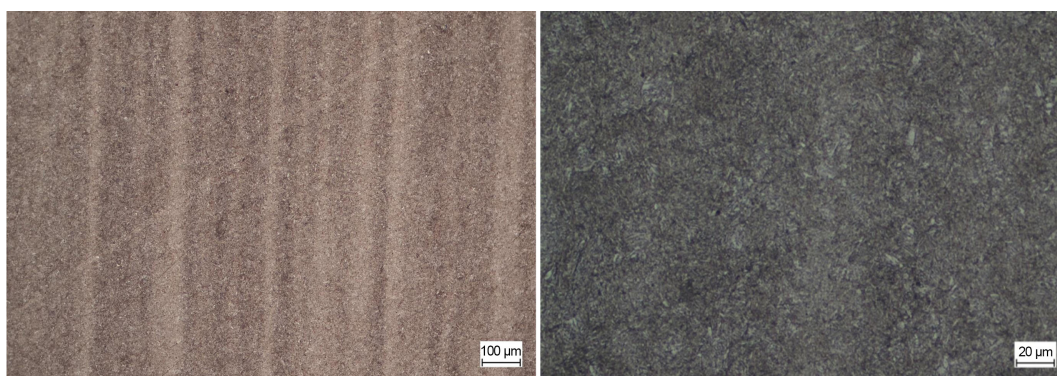
(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 5.** Metallographic structure after quenching at 880°C, 450°C\*1 h**图 5.** 880°C 淬火、450°C\*1 h 回火金相组织

(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 6.** Metallographic structure after quenching at 880°C, 500°C\*1 h**图 6.** 880°C 淬火、500°C\*10 min 回火金相组织

(a) 放大倍数 100 倍

(b) 放大倍数 500 倍

**Figure 7.** Metallographic structure after quenching at 880°C, 600°C\*1 h**图 7.** 880°C 淬火、600°C\*10 min 回火金相组织

### 2.3. 热嵌固齿孔板实验

为了确定 45CrNiMo1V 钢钎头体的装齿温度以及装齿过盈量，测试热嵌固齿的抱紧力，为后续钎头体实际生产提供可靠的实验依据，故进行热嵌固齿孔板实验。

### 2.3.1. 线膨胀系数分析

为了准确模拟热嵌固齿工艺，对线膨胀系数试样也进行了 880℃ + 500℃\*1 h 回火工艺。

由表 4 线膨胀系数测试结果可知，在 400℃~600℃ 的温度区间中，线膨胀系数是随着温度升高而增大。

**Table 4.** Table of linear expansion coefficient test results

**表 4.** 线膨胀系数测试结果表

测试温度	检测结果
	热膨胀系数 1/K
400℃	$12.6261 \times 10^{-6}$
450℃	$12.8498 \times 10^{-6}$
470℃	$12.8981 \times 10^{-6}$
500℃	$12.9687 \times 10^{-6}$
520℃	$13.0207 \times 10^{-6}$
550℃	$13.1269 \times 10^{-6}$
600℃	$13.3488 \times 10^{-6}$

### 2.3.2. 确定热装温度

由表 4 可知，在 400℃~600℃ 的温度区间中，线膨胀系数是随着温度升高而增大。但考虑热嵌温度对机械力学性能的影响，所以对样品进行 880℃ 油淬、分别以 500℃\*10 min 回火、600℃\*10 min 回火，以此模拟装齿工艺过程，硬度数值见表 5：

**Table 5.** Rockwell hardness table after heat treatment

**表 5.** 热处理后洛氏硬度表

热处理工艺	洛氏硬度(HRC)			
	点 1	点 2	点 3	平均值
880℃ 淬火、500℃*10 min 回火	51.8	51.5	51.3	51.5
880℃ 淬火、600℃*10 min 回火	47.6	48	47.8	47.8

### 2.3.3. 孔板热处理后硬度测试

采用 3 个 Φ60 孔板 880℃ 油淬，500℃ 回火保温 1 小时，针对再次进行硬度测试的验证。样板与结果情况如下图 8、表 6：

**Table 6.** Hardness test results of orifice plate heat treatment

**表 6.** 孔板热处理硬度测试结果表

孔板热处理硬度测试结果表				
序号	测试点	测试点		
		点 1	点 2	点 3
1 号板		48	49	50
2 号板		50	50	51
3 号板		49	49	51

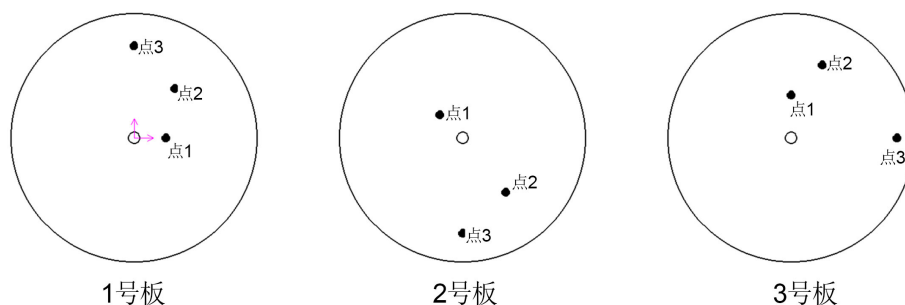


Figure 8. Experimental orifice drawing  
图 8. 实验孔板图

根据上表结论可知, 孔板 880℃油淬, 500℃回火保温 1 小时, 硬度在 HRC48~51。符合此次实验对钢材的需要以及后续孔板实验的要求。

### 3. 热嵌固齿

实验设备: 洛氏硬度计、热膨胀系数仪、中频热镶固齿机组设备。

结合查阅资料及经验, 装齿过程中既不能过盈量过小影响抱紧力, 又不能因为抱紧力过大而损伤合金, 合金与齿孔配合过盈量选用 0.05 mm、0.06 mm 和 0.07 mm [4]。

1) 孔板采用  $\phi 50$ 、厚度 10.7 mm 孔板 6 个,  $\phi 60$ 、厚度 11.8 mm 孔板 2 个。如图 9 所示:

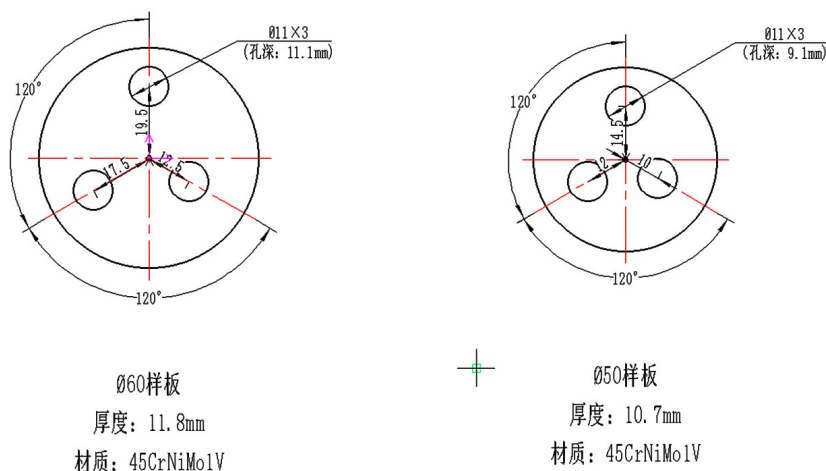


Figure 9. Orifice plate template drawing  
图 9. 孔板样板图

2) 合金采用肩高 10 mm、总高 15 mm、 $\phi 11$  mm 和肩高 12 mm、总高 18 mm、 $\phi 11$  mm 两种型号; 分别在同一孔板和不同孔板上进行合金配合过盈量为 0.05 mm、0.06 mm 和 0.07 mm 的热嵌固齿。

3) 孔板热嵌固齿工艺具体实验情况

装齿设备采用中频热镶固齿机组设备, 电流根据实际装齿工作强度控制在 100~200 A 之间,  $\Phi 60$  孔板装齿时间在 30 s~40 s 左右, 从装齿温度加热至 500℃, 从开始装齿至 40 时, 温度降至 450℃, 后续逐渐冷却。

4) 推出力实验

对热嵌固齿后的样品进行推出压力实验。实验数据如表 7 所示:



**Table 7.** Data record of hot orifice plate alloy ejection pressure  
**表 7.** 热嵌孔板合金推出压力数据记录

热镶孔板合金顶出压力数据记录				
φ50 孔板	大 0.05 mm	孔 1	孔 2	孔 3
5-1		3.2t	3.5t	3.5t
5-2		3.3t	3.6t	3.5t
φ50 孔板	大 0.06 mm	孔 1	孔 2	孔 3
6-1		2.1t	2.5t	2.3t
6-2		2.1t	2.1t	2.2t
φ50 孔板	大 0.07 mm	孔 1	孔 2	孔 3
7-1		3.5t	3.5t	3.8t
7-2		3.4t	3.3t	3.6t
φ60 孔板		大 0.05 mm	大 0.06 mm	大 0.07 mm
1 号板		5.7t	5t	5.8t
2 号板		5.5t	5.5t	5.8t

由推出压力实验数据可知, 在过盈量为 0.07 mm 时, 推出压力最大, 抱紧力最大, 但抱紧力过大会导致合金内部产生较大内应力, 对合金造成损伤, 故在实际应用中, 钎头中齿合金采用 0.05 mm 的过盈量, 边齿采用 0.07 mm 的过盈量。

#### 4. 实际应用实验

根据以上实验确定的数据参数再通过热嵌固齿工艺制成 R32-φ60 钎头样品, 同时将国内某知名品牌 R32-φ60 钎头样品一同送往深部矿业公司采矿车间, 采用 90 圆盘导轨式凿岩机, 在岩石普氏系数  $f = 8 \sim 14$  的中硬岩、较硬岩、较软硬岩分别进行了实验, 某品牌钎头样品凿岩深度 48~50 米, 我司样品凿岩深度能够达到 55~60 米, 试验达到预期效果。

#### 5. 结论

1) 根据 Q45NiCr1Mo1VA 钢不同温度回火的机械性能的曲线图, 以及该材质钢的机械性能、线膨胀系数、金相组织的实际检测结果分析, 得出 45CrNiMo1V 号钢材质钎头, 在 880℃油淬, 500℃回火空冷的情况下, 综合各项机械性能达到最优, 同时符合热嵌固齿工艺要求。

2) 因为在 400℃~600℃的温度区间中, 线膨胀系数是随着温度升高而增大, 但长时间高温会造成钎体硬度急剧下降, 所以由线膨胀系数分析得出, 嵌齿温度应为 500℃, 安装时间尽量控制在 10 min 以内, 时间越短越好。

3) 在装齿过程中, 如果柱齿合金与齿孔过盈量过小, 会影响合金与齿孔之间抱紧力, 但过盈量过大, 在嵌齿过程中则会损伤合金, 故钎头在实际装齿过程中, 中齿合金过盈量为 0.05 mm, 边齿采过盈量为 0.07 mm, 能够在既不过度损伤硬质合金又能保证抱紧力足够。

#### 参考文献

- [1] 张国祥, 符夷雄, 张汉斌. 试论球齿钎头的固齿工艺[J]. 金属矿山, 1995(11): 3-9.

- [2] 胡铭, 刘建政, 黄洁仁, 等. 钎具标准汇编: 凿岩机用钎头技术说明[Z]. 贵阳: 贵阳钎钢研究所, 2005: 100-102.
- [3] 黎炳雄. 钎具用钢手册: 钎头用钢[M]. 贵阳: 贵阳钎钢研究所情报, 2010: 99-101.
- [4] 欧梅桂, 龙潜. 45CrNiMo1V 球齿钎头固齿工艺研究[J]. 现代机械, 2012(3): 67-69.