

热压钻头烧结过程温度场分布研究

李俊萍, 胡立

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要: 设计了 3 种烧结温度和 2 种升温速率, 利用仿真分析软件 CFD 对热压钻头烧结过程的温度场分布情况进行了分析。结果表明: 烧结温度、升温速率和保温时间对烧结过程的温度场分布均存在影响。随着烧结温度的升高, 石墨模具和钻头胎体间的温度差异也随之增大。在一定范围内, 温度差会随着升温速率的升高而减小。由于温差的存在, 保温时间应该根据模具壁厚、钻头规格和胎体配方进行综合考虑。

关键词: 热压金刚石钻头; 温度场; 热传导; 烧结

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0111-03

Analysis on Temperature Distribution during the Hot Pressing Sintering for Bit/LI Jun-ping, HU Li (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: This paper discussed the simulation which is on the basis of the CFD software, including 3 different temperatures and 2 different heating rates; and analyzed the distribution of the temperature field during the hot pressing sintering for bit. The simulation shows that the sintering temperature, heating rate and holding time have effect on the temperature distribution. The temperature differences between graphite mould and bit matrix rises when the sintering temperature rises. Within certain limits, the temperature difference will reduce as heating rate increases. As a result, the holding time should be considered based on the mould thickness, bit specifications and mould formula.

Key words: hot pressing diamond bit; temperature field; heat conduction; sintering

0 前言

由于工艺操作简单、成型快、性能易调节等优势, 热压金刚石钻头在地质钻探领域中广泛应用^[1,2]。影响热压钻头质量的因素有很多方面, 但主要是钻头胎体配方组成和烧结工艺^[3,4]。除了选取与钻进地层相适应的胎体材料之外, 烧结工艺是影响钻头钻进效果的关键因素。热压法是国内最常见的金刚石钻头制造方法, 是粉末冶金法的一个分支, 其特点是在烧结的同时施加压力, 可以很大程度的降低成型压力和缩短烧结时间, 得到高质量的烧结产品。

随着热压钻头的普遍使用, 热压钻头在生产过程中的一些潜在的问题也逐渐突出。由于金刚石钻头胎体是一种比较复杂的多元体系, 属于多元系固相烧结^[5]。烧结温度一般是胎体粉末粘结剂主要成分熔点的 75% ~ 90%, 使粘结成分处于熔融状态。在一定烧结温度下, 胎体粉末之间产生扩散作用, 在一定压力条件下使胎体达到所要求的密度和强度。但是, 由于钻头模具和测温系统的制约, 无法直接测出钻头胎体在烧结过程中的实际温度, 即烧结温度是否准确, 在实际生产中, 多凭经验判断。

为了能够有效地提高热压钻头的烧结质量, 采用计算机仿真技术, 在 CFD 软件平台上, 对热压钻头烧结过程进行模拟。CFD 软件能够对流体和传热进行数值模拟, 已广泛应用于各领域中^[6,7]。基于模拟的基础上, 分析不同烧结温度、保温时间、升温速率等因素对温度场分布的影响, 从而对生产工艺的合理性进行验证分析, 优化烧结工艺, 为钻头生产提供一定的参考信息。

1 热压烧结温度场模拟分析

1.1 模型建立

采用中频感应炉进行钻头烧结, 选用高纯石墨模具, 在高温高压条件下可以降低金属粉末氧化。为充分体现钻头的烧结过程, 选择典型的 Ø75/49 mm 绳索取心钻头, 胎体高度为 12 mm。模具壁厚参考实际的模具厚度, 即为 40 mm。如图 1 所示, 模型分为 3 个部分: 石墨模具、钻头钢体和钻头胎体。在建立钻头热压烧结模型, 有以下假设: (1) 钻头胎体各向同性; (2) 烧结过程中没有热损失; (3) 烧结过程中, 由于模型各部件均为接触传热, 则仅考虑热传导。

收稿日期: 2013-06-15

作者简介: 李俊萍(1986-), 女(汉族), 福建宁德人, 中国地质科学院探矿工艺研究所, 地质工程专业, 硕士, 从事金刚石钻头设计与研究工作, 四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路 139 号, lijunping_xp@163.com。

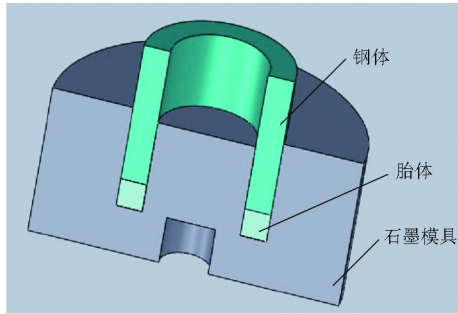


图1 热压钻头烧结模型三维剖面图

设置的烧结温度有3种:950、1000和1050℃。

表2 钻头烧结工艺参数

序号	烧结温度/℃	升温速率/(℃·s ⁻¹)	保温时间/min
1-1	950	2	
1-2	1000	2	
1-3	1050	2	
2-1	950	4	5
2-2	1000	4	
2-3	1050	4	

(3) 网格划分:模型采用均匀网格划分,共46万个单元。

(4) 求解设置:根据烧结特点,采用瞬态计算模式,即代表模型升温加热的过程,时间步长设为5。为了满足钻头的升温时间和保温时间,模型的迭代次数为6000步,稍大于钻头的烧结时间。同时,设置烧结过程主要以热传导为主要热传递方式。

2 结果分析与讨论

通过对烧结过程的温度场模拟,通过软件的实时监测窗口可以直观地观察到随着温度的升高,钻头的温度变化分布,对判断钻头的烧结工艺参数是否合理具有一定的参考意义。本文将从以下几个方面对模型的温度场进行详细的分析。

2.1 模型剖面上的温度场分布

图2表示的是在不同的升温速率和烧结温度下,6种烧结模型在烧结过程结束后的温度差分布云图。从图中可以看出,钻头的温度场的分布在方向上是一致的,区别仅在于数值的大小。由于石墨模具的导热性能较好,胎体在靠近模具的部位几乎接近了石墨的温度。从模拟的结果图中可以反映出:在烧结过程结束后,模具内外表面存在温度差,从比例尺的数值可以看出模具和钻头之间的温差较小。

但是在钻头的实际烧结过程中,由于装模的特点,胎体粉末之间存在较大的孔隙率,导致粉末的导热效果低于软件模拟中设置的导热系数。因此,实际生产过程中钻头胎体和石墨模具的温度差应该大于模拟中的温度差。

2.2 钻头胎体温度场的影响因素分析

2.2.1 烧结温度的影响

烧结温度由胎体粘结剂组成成分熔点决定,钻头的烧结温度在950~1050℃范围之内。如图3所示的是在2和4℃/s两种升温速率下,烧结过程结束后,石墨模具与钻头胎体平均温度的差值。由图

1.2 有限元传热理论

由于存在温差,则物体之间会产生热传递。根据傅里叶定律,热传导是物体之间传热的主要形式,且满足以下关系式^[8]:

$$Q/t = KA(T_{\text{热}} - T_{\text{冷}})/d$$

式中: Q ——时间 t 内的传热量,J; K ——热传导系数,W/(m·℃); T ——温度,℃; A ——平面面积,m²; d ——两平面之间的距离,m。

钻头的烧结过程满足瞬态传热,即一个系统的加热过程。在此过程中,系统的温度及系统内能均有明显变化。根据能量守恒定律,瞬态传热与系统的密度、比热、导热系数等有关。

1.3 主要参数设置

为了了解钻头从室温加热到指定烧结温度的温度场分布,设置了2种不同的升温速率,并对比分析升温速率对温度场分布的影响。同时,设置了3种不同的烧结温度,以此分析最优的钻头烧结温度。根据软件要求,同时还进行了如下参数的设置:

(1) 材料属性设置:模型分为石墨模具、钻头钢体和钻头胎体3个部分。石墨模具和钢体是常见材料,则在材料数据库可以直接选择。由于胎体粉末没有特定的热物性参数,因此,根据胎体组成配比,以加权方式计算得出胎体粉末的近似参数,如表1所示。

表1 模型材料热物性参数

名称	密度 /(kg·m ⁻³)	比热/[J· (kg·K) ⁻¹]	导热系数/[W· (m·K) ⁻¹]
石墨模具	2250	707.68	24
钢体	7833	465	分段线性
胎体	10500	540	90

(2) 边界条件设置:在实际烧结过程中,中频烧结炉采用的是红外测温装置测试模具外表面温度。因此,选定模具外表面作为边界条件,并在模具外表面施加分段线性的温度载荷,即钻头热压烧结工艺参数。如表2所示,设置的升温速率为2和4℃/s,

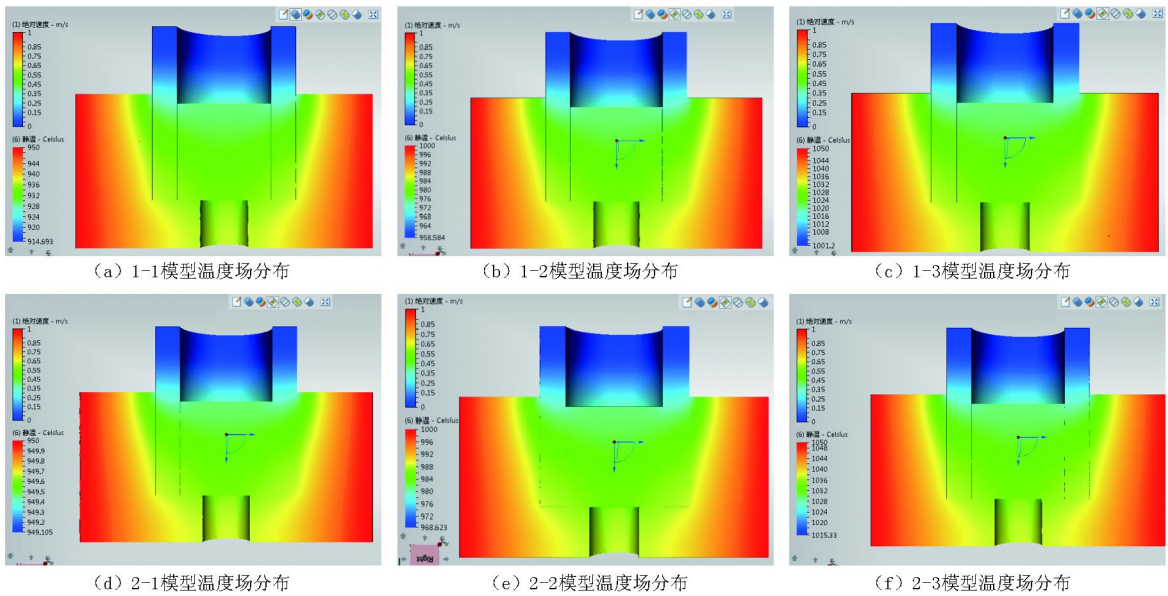


图 2 6 种模型的温度场分布图

中曲线显示:随着烧结温度的升高,石墨模具和钻头的温度差也随之增大。因此,烧结温度不能过高,一方面会导致模具和钻头之间的温度差异增大,使钻头烧结温度差分布不均,导致钻头质量的不稳定;一方面会导致金刚石石墨化,降低其强度。

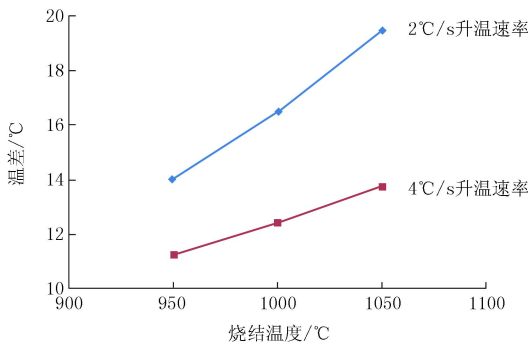


图 3 升温速率与温差关系曲线图

2.2.2 升温速率的影响

烧结过程中升温速率的高低,存在不同的观点。决定升温速率的因素主要取决于胎体组成。但是,太长的升温阶段会导致胎体的金属粉末在高温状态下氧化,从而影响钻头胎体的钻进性能。同时,过久的烧结过程对金刚石颗粒的质量也存在一定的影响,会导致钻头强度的降低。

图 3 显示在 2℃/s 升温速率下,模具和胎体之间的温度差距较大,最大的可以达到 19.47℃。温度差异的存在,可能会引起钻头胎体粉末粘结相无法达到其相应的熔点,对骨架材料的粘结性能较低,对金刚石的包镶能力降低。

在 4℃/s 升温速率下,模具和胎体间的温差减

小,最高的温差为 13.47℃。这个现象表明:适当的提高升温速率,能够有效地减小模具和胎体间的温度差异,进一步提高钻头质量的稳定性。

2.2.3 保温时间

保温过程是胎体金属粉末在石墨模具里吸收熔解热、熔化、粘结剂对金刚石和骨架金属润湿,以及胎体金属与钢体之间形成粘结过渡层的过程。保温时间直接关系到热压钻头能否烧透,在此次模拟的结果中则体现在钻头胎体的温度是否达到预先设计的温度。如表 3 所示,无论是在 2℃/s 升温速率还是 4℃/s 升温速率条件下,当钻头保温 5 min 中结束后,钻头胎体的实际最高温度均没有达到设计的温度值,表明保温时间不够。在实际烧结过程中,应根据模具壁厚、钻头规格和胎体配方进行综合考虑,选择较优的保温时间,使粘结剂金属得到充分的扩散和润湿金刚石颗粒与骨架材料,从而保证钻头质量的稳定性。

表 3 胎体理论烧结温度和实际最高温度对比

升温速率/(℃·s ⁻¹)	理论温度/℃	最高温度/℃
2	950	937.36
	1000	985.14
	1050	1032.44
4	950	939.86
	1000	988.79
	1050	1037.61

3 结论

烧结过程中的温度场分布直接反映了热压钻头

(下转第 116 页)

50/60~100/120。有时采用单一粒度,有时采用混合粒度。一般说来,金刚石粒度越粗,则工作刃越高,钻头的钻进效率越高。岩石越软,越适于选用粗颗粒金刚石,硬质,弱研磨性岩层需选用粗粒度高品级金刚石。在钻进复杂地层,特别是硬、脆、碎岩层时,为了保证金刚石钻头的寿命,宜选用细颗粒金刚石,也可选用混合粒度金刚石。混合粒度能提高金刚石钻头的钻进时效,同时,钻头的其它综合性能也能得到改善。

不同粒度的金刚石颗粒尺寸不同,电流密度和上砂间隔时间也应作相应调整,才能获得理想的电镀层。

3.5 金刚石的表面处理

金刚石结构的碳原子呈 SP^3 杂化,在金刚石表面层中有一个未成对的价电子,这就使它很容易发生化学吸附。因此,金刚石表面总是存在着一层吸附杂质。电镀前必须对金刚石进行表面净化和亲水化处理,否则,金刚石颗粒就会漂浮在电镀液的表面上,而不能沉积到基体上去。表面吸附层如果夹杂在金刚石晶体与金属镀层之间,会严重地影响金刚石与镀层的结合力,使金刚石过早脱落。十二烷基硫酸钠是镀镍液中常用的润湿剂,它的硫酸根是亲水基,烃基是疏水基,烃基与油、气体、固体有良好的亲和力。金刚石投入使用前,加入少量的十二烷基硫酸钠溶液进行浸润,再用蒸馏水进行清洗,能除去

金刚石表面吸附的杂质。经过亲水化处理的金刚石还会有少量小气泡,成团的现象。仔细观察发现,上过一段时间砂以后,备用金刚石里面带入了一定镀液,反而金刚石里的小气泡消失了,金刚石能很好沉积到基体上。经分析,镀液呈弱酸性,用于浸泡金刚石,能有效阻止金刚石吸附空气中的杂质。亲水处理后的金刚石用电镀液浸泡待用,就没有再出现金刚石难沉积的问题。

一个电镀周期完成后,镀槽中回收的金刚石要经过酸碱处理两道工序去除金刚石中的杂质。

4 结语

充分了解金刚石的性能以及它在钻头中的作用,对合理设计钻头参数、发挥钻头的最高效用,有很强的指导意义。

参考文献:

- [1] 袁公显.人造金刚石合成与金刚石工具制造[M].湖南长沙:中南工业大学出版社,1992.
- [2] 张绍和,鲁凡.钻头钻速与金刚石粒度间的定量关系研究[J].地质科技情报,2000,(4):105-108.
- [3] 李和胜,李木森.人造金刚石冲击韧性与其品质相关性的研究[J].金属热处理,2007,32(S1):458-461.
- [4] 王秦生.超硬材料电镀制品[M].北京:中国标准出版社,2000.
- [5] 彭振斌,杨俊德.金刚石钻头和金刚石锯片中金刚石粒度设计[J].矿冶工程,2003,12(6):76-78.

(上接第113页)

的烧结情况。根据仿真模拟结果可以得出以下结论:

(1) 烧结温度、升温速率和保温时间对热压钻头烧结过程的温度场分布均存在影响。

(2) 随着烧结温度的升高,石墨模具和钻头胎体间的温度差异也随之增大。

(3) 在一定范围内,温度差会随着升温速率的升高而减小。

(4) 由于温差的存在,保温时间应该根据模具壁厚、钻头规格和胎体配方进行综合考虑。

参考文献:

- [1] 沈立娜,阮海龙.国内外金刚石钻头的部分技术进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):78-80.
- [2] 翟嵩,曹建.金刚石钻头国内外研究现状及发展趋势[J].内蒙古石油化工,2009,(20):19-20.
- [3] 袁文汇,何志涛.热压钻头中中频烧结的几点体会[J].西部探矿工程,1999,11(2):76-78.
- [4] 张义东.金刚石钻头热压烧结工艺研究[D].湖南长沙:中南大学,2010.
- [5] 段隆臣,潘秉锁,方小红.金刚石工具的设计与制造[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2013.
- [6] 姚成军,徐明厚.基于CFD的焙烧炉技术改进[J].能源技术,2008,29(2):110-113.
- [7] 杨道合,段隆臣.石油取芯钻头石墨模具在热压过程中的受力状况分析[J].金刚石与磨料磨具工程,2009,(5):53-57,63.
- [8] 张朝晖.ANSYS热分析教程与实例解析[M].北京:中国铁道出版社,2007.