

钛合金铸造缩孔热变形演变规律研究

林 辉

宝鸡钛业股份有限公司 陕西 宝鸡 721014

摘要: 本文针对钛合金铸造过程中普遍存在的缩孔问题展开研究,着重探讨了缩孔在热变形过程中的演变规律。通过对铸造工艺参数的调整和热变形条件的观察,分析了缩孔的形成机制和热变形行为,旨在为改善钛合金铸造质量提供理论支撑和实践指导。

关键词: 钛合金; 铸造; 缩孔; 热变形; 演变规律

引言: 钛合金由于其优异的性能特点,在航空、航天、医疗等领域具有广泛的应用前景。然而,在钛合金铸造过程中,缩孔问题一直是制约其应用的重要因素之一,直接影响铸件的力学性能和外观质量。因此,深入探究钛合金铸造过程中缩孔的形成机理和热变形演变规律,对于提高钛合金铸造质量具有重要意义。

本文通过分析铸造工艺参数对缩孔形成的影响,研究了缩孔在铸造过程中的热变形演变规律。首先,介绍了钛合金铸造中常见的缩孔问题,并对其形成机制进行了初步探讨。然后,通过观察不同热变形条件下缩孔的演变情况,分析了热变形过程中缩孔的行为特征。最后,总结了研究结果,并提出了改善铸造质量的建议,为钛合金铸造工艺的优化提供了一定的理论指导。通过本文的研究,可更好地了解钛合金铸造过程中缩孔的形成机理和热变形演变规律,为优化钛合金铸造工艺提供理论依据,促进钛合金材料在各领域的应用与发展。

1 缩孔形成机理

在钛合金铸造过程中,缩孔的形成机理涉及多种因素的相互作用,主要包括气体吸收和析出、凝固过程中的温度梯度和凝固收缩、以及金属液体的流动性。

首先,气体在金属液体中的溶解和析出是导致缩孔形成的重要因素之一。在铸造过程中,钛合金常常吸收氧气、氮气等气体,随着温度的升高,这些气体会逐渐溶解于金属液中。而在凝固过程中,随着温度的降低,溶解在金属液中的气体可能析出形成气泡,这些气泡在晶粒凝固过程中成为缩孔的形成核心。其次,凝固过程中的温度梯度和凝固收缩也是导致缩孔形成的重要原因。在钛合金的凝固过程中,晶粒的生长会伴随着凝固收缩,这会导致晶粒周围的金属液体被挤压,从而形成缩孔。特别是在凝固过程中存在温度梯度的情况下,晶粒凝固速度的差异会导致缩孔的形态不规则,进一步促进了缩孔的形成。另外,金属液体的流动性也会影响缩

孔的形成。在铸造过程中,如果金属液体的流动不畅或是局部凝固速度不均匀,会导致气体不能有效地从金属液中排出,从而增加了气体在铸件中的含量,进一步促进了缩孔的形成^[1]。

2 缩孔的热变形演变规律

在钛合金铸造过程中,缩孔的热变形演变规律是铸造工艺和材料特性相互作用的结果。缩孔在铸造过程中的演变规律受到多种因素的影响,包括温度、时间、流动性以及金属液体的固相凝固过程等。以下将具体探讨缩孔在铸造过程中的热变形演变规律及其影响因素。

2.1 温度的影响

温度是影响缩孔热变形演变规律的关键因素之一。在铸造初期,金属液体温度较高,这促使晶粒生长迅速,而缩孔由于晶粒的凝固收缩而逐渐扩大。随着铸件温度的降低,金属液体逐渐凝固,晶粒生长速度减缓,从而缩孔逐渐趋于稳定。在整个冷却过程中,温度的降低会导致晶粒的凝固速度减慢,这进一步减少了缩孔的进一步扩张,最终使得缩孔逐渐减小。因此,温度在铸造过程中的变化直接影响着晶粒的凝固速度和缩孔的演变规律,是决定缩孔形成和演变的关键因素。

2.2 时间的影响

时间也是影响缩孔热变形演变规律的重要因素。在铸造过程中,随着时间的推移,金属液体经历了凝固和冷却阶段。在凝固阶段,由于晶粒的凝固收缩,缩孔逐渐扩大,直至晶粒生长停止。而在冷却阶段,随着温度的降低,金属液体逐渐凝固,晶粒的生长速度减缓,缩孔逐渐趋于稳定并逐渐减小。因此,时间的变化直接影响着铸造过程中缩孔的演变规律。在铸造初期,时间对于晶粒的生长和缩孔的扩大至关重要;而在后期,时间则是缩孔稳定和减小的关键因素。因此,在研究缩孔热变形时,必须充分考虑时间因素的影响,以深入理解缩孔形成和演变的规律^[2]。

2.3 流动性的影响

金属液体的流动性对于缩孔的形成和演变具有关键影响。流动性不佳会导致金属液体在铸造过程中难以均匀流动,从而使得缩孔难以得到有效填充和排除。当金属液体流动性不佳时,浇注过程中可能会出现充填不均匀的情况,一些部位可能会有金属液体凝固不完全,形成缩孔的隐患。此外,流动性不佳还会增加铸件中的气体含量,进一步促进了缩孔的形成。为了改善金属液体的流动性,可以采取一系列措施来优化浇注系统和浇注工艺。首先,合理设计浇口和浇道系统,确保金属液体能够顺利地进入模具,充分填充模腔,减少气体的夹杂和缩孔的形成。其次,采用适当的浇注工艺,如真空铸造或压力铸造,可以有效地提高金属液体的流动性,减少流动阻力,从而降低缩孔率。

2.4 固相凝固过程的影响

晶粒的固相凝固过程对于缩孔的形成和演变具有关键作用。在晶粒的凝固过程中,由于晶粒内部的固相与液相之间的界面张力,晶粒的凝固收缩会导致周围金属液体流动,形成缩孔。晶粒凝固收缩过程中,金属液体从晶粒周围向晶粒内部流动,造成晶粒内部形成空隙,最终形成缩孔。此外,在晶粒的生长过程中,由于晶粒的尺寸不均匀以及晶界的结构缺陷,也可能导致缩孔的进一步扩张。因此,晶粒的固相凝固过程中的不同阶段对缩孔的演变规律具有重要影响。在凝固初期,晶粒的凝固收缩主要导致了缩孔的形成;而在后期,晶粒的生长过程可能导致缩孔的进一步扩张。因此,深入研究晶粒固相凝固过程中的细微变化,了解不同阶段对缩孔形成和演变的影响,对于制定有效的缩孔控制策略至关重要。

3 改善措施和建议

针对钛合金铸造过程中缩孔问题,需要采取一系列的改善措施和建议,以提高铸造质量并降低缩孔率。以下是一些具体的建议:

3.1 优化铸造工艺参数

优化铸造工艺参数是减少钛合金铸造过程中缩孔形成的重要手段之一。通过合理调整铸造温度和冷却速度,可以有效地控制缩孔的形成。首先,合理的铸造温度对于保证金属液体的流动性至关重要。在合适的温度下,金属液体的流动性更好,可以有效地减少晶粒凝固速度的差异,从而降低缩孔的发生率。此外,适当调整铸造温度还可以影响晶粒的形态和尺寸,进而影响缩孔的形成。因此,通过精确控制铸造温度,可以有效地减少缩孔的产生。其次,调整冷却速度也是减少缩孔形成的重要手段之一。适当调整冷却速度可以有效地控制晶

粒的生长速度,进而减少晶粒凝固过程中的凝固收缩,从而进一步减少缩孔的形成^[3]。一般来说,较快的冷却速度可以抑制晶粒的生长,减小晶粒的尺寸,有利于减少缩孔的产生。因此,在铸造过程中,合理调整冷却速度,控制晶粒的生长速度,对于减少缩孔形成具有重要意义。

3.2 采用合适的浇注系统和浇注工艺

选择合适的浇注系统和浇注工艺在减少钛合金铸造过程中缩孔问题方面扮演着至关重要的角色。合理设计的浇口和浇道系统能够有效地保证金属液体的流动性,从而避免了流动不畅所带来的气孔和缩孔。首先,合适的浇口设计可以使金属液体在浇注过程中均匀流动,减少了金属液体的湍流和气体夹杂的可能性,有利于减少缩孔的形成。而合理设计的浇道系统能够保证金属液体顺利地进入模具中,避免了气体被夹带入铸件中,进而减少了缩孔的发生。此外,选择适当的浇注工艺也是减少缩孔问题的有效手段之一。例如,采用真空铸造或压力铸造工艺能够有效地减少金属液体中气体的吸收和析出,从而降低了缩孔的率。在真空铸造过程中,通过将铸造过程中的气体真空抽除,有效地减少了金属液体中的气体含量,减少了气孔和缩孔的形成。而压力铸造则通过施加压力,促进了金属液体的充填和凝固,有效地减少了气体的夹杂和缩孔的形成。因此,采用这些高效的浇注工艺可以有效地提高铸造质量,降低缩孔率。

3.3 控制铸造环境

此外,合理控制铸造环境也是在钛合金铸造过程中减少缩孔的重要措施之一。一个好的铸造环境对于确保金属液体的质量和减少缩孔率至关重要。其中,控制湿度和温度是保持良好铸造环境的关键因素之一。适当的湿度和温度能够减少氧气对金属液体的污染,从而降低气孔和缩孔的形成率。过高的湿度和温度会增加氧气的溶解度,导致金属液体中的气体含量增加,从而增加了缩孔的形成率。因此,通过控制铸造环境的湿度和温度,可以有效地减少氧气的溶解,降低缩孔率,提高铸造产品的质量和性能。另外,还需定期清理铸造设备和浇注工具。铸造设备和浇注工具的清洁程度直接影响金属液体的流动性和充填性。过度的污垢和杂质会阻碍金属液体的流动,导致充填不均匀,进而增加了缩孔的形成率。因此,定期对铸造设备和浇注工具进行清理和维护,保持其清洁和光滑度,可以有效地减少金属液体在浇注过程中的阻力,减少缩孔的产生^[4]。

3.4 加强质量控制和检验

建立严格的质量管理体系是确保铸造产品质量稳定

性和可靠性的基础。这一体系应涵盖从原材料采购到成品出厂的全过程，对铸造工艺的每一个环节都进行全面的检验和测试。

首先，对原材料的质量进行严格把控是确保铸造产品质量的基础。钛合金铸造中常用的原材料包括钛合金锭和合金元素。对原材料进行全面的化学成分分析和物理性能测试，确保其符合设计要求和标准。此外，还应加强对原材料的供应商管理，选择信誉良好、质量可靠的供应商，确保原材料的稳定供应和质量可控。其次，对铸造工艺的每一个环节进行严格的检验和控制是确保铸造产品质量的关键。包括模具设计、浇注温度控制、浇注时间控制、铸件冷却过程等环节都应进行全面的检查和测试。通过实时监测和记录铸造工艺参数，及时发现工艺异常和问题，采取有效的措施加以解决，确保铸造过程的稳定性和可控性。最后，对成品进行全面的检验和测试是确保铸造产品质量的最后一道防线。通过对铸造产品的外观质量、尺寸精度、力学性能等进行全面的检验和测试，确保其符合设计要求和标准。并建立完善的质量档案，对每一批铸造产品进行追溯管理，及时发现和解决潜在的质量问题，提高铸造产品的质量稳定性和可靠性^[5]。

4 结束语

综上所述，钛合金铸造过程中缩孔的形成机理和热变形演变规律受到多种因素的影响，需要综合考虑才能够准确地描述其演变过程。通过采取合适的改善措施和建议，可以有效地减少缩孔问题，提高钛合金铸造质量，推动钛合金材料在各领域的应用与发展。

参考文献

- [1]隋艳伟,刘爱辉,李邦盛,等.钛合金离心铸造缩孔缺陷物理模拟研究[J].郑州大学学报(工学版),2009,030(001):61-64.
- [2]LIU Ji-xiong等.“钛合金铸造缩孔热变形演变规律研究.”中国有色金属工业协会钛锆铅分会2017年会香港中医学会、教育研究基金会,2017.
- [3]刘继雄,张伟,乔璐,等.钛合金铸造缩孔热变形演变规律研究[J].科技创新与应用,2020(2):3.
- [4]王彦菊,关永军.应用BP神经网络预测TC4钛合金铸件缩孔缺陷的方法:CN201710684770.6[P].CN107577850A
- [5]历长云,崔红保,吴士平,等.立式离心场下钛合金铸件缩孔缩松数值模拟[J].特种铸造及有色合金,2008,(10):759-761+734.