

锻造工艺参数对金属材料性能的影响

王修宾

北京北冶功能材料有限公司 北京 100192

摘要：探讨了锻造工艺参数对金属材料性能的影响。通过系统分析温度、变形速率和变形量等关键工艺参数，揭示了它们对金属材料微观结构、力学性能和物理性能的作用机制。研究发现，工艺参数的变化不仅影响金属材料的晶粒大小、相组成和位错密度等微观结构特征，还显著改变其强度、硬度、塑性和韧性等宏观性能。

关键词：锻造工艺；金属材料；性能的影响

1 金属材料的锻造工艺参数概述

金属材料的锻造工艺参数是决定锻造件质量和性能的关键因素。以下是锻造工艺中常见的一些重要参数概述，锻造温度：金属在锻造过程中需要加热到一定的温度，以便获得所需的塑性和流动性。锻造温度的选择取决于金属的种类、化学成分和预期的机械性能。过高的温度可能导致氧化、晶粒粗大；而过低的温度则可能导致锻造困难，增加设备负荷。变形速率：金属的变形速率，即锻造速度，对锻造件的结构和性能有重要影响。一般来说，变形速率越快，金属的流动性越差，可能导致内部应力增加和微观结构的不均匀。锻造压力：锻造过程中施加的压力大小对金属的致密性和结构有决定性影响。足够的压力可以使金属更好地充满模具，减少内部空洞和缺陷^[1]。模具设计：模具的形状、尺寸和表面质量直接影响锻造件的外形和内部质量。模具设计需要考虑到金属的流动性、收缩率以及锻造后的冷却和热处理等因素。冷却和热处理：锻造后的冷却和热处理工艺对锻造件的最终性能至关重要。适当的冷却速度可以防止热裂和变形，而热处理则可以调整金属的微观结构，提高机械性能。润滑和保护：锻造过程中，金属与模具之间的摩擦会影响锻造件的质量和模具的寿命。因此，适当的润滑和保护措施是必不可少的。

2 锻造工艺参数的选择和优化原则

锻造工艺参数的选择和优化是确保产品质量、提高生产效率和降低生产成本的关键环节。首先，要深入了解金属材料的性质，包括其塑性、强度、热导率、热膨胀系数等。这些性质将直接影响锻造工艺参数的选择，如锻造温度、变形速率等。根据产品的最终用途和性能要求，选择合适的锻造工艺参数。例如，对于需要高强度和良好韧性的产品，可能需要选择较低的锻造温度和较慢的变形速率。在满足产品质量要求的前提下，尽量提高锻造生产效率。这可能需要通过调整锻造温度、变

形速率和锻造压力等参数来实现。通过合理的工艺参数选择，可以降低能源消耗、减少废品率和提高模具寿命，从而降低生产成本。锻造设备的性能和能力也是选择工艺参数的重要考虑因素。要确保所选参数在设备能力范围内，避免超负荷运行。在选择和优化工艺参数时，需要进行实验验证。通过实验，可以评估所选参数对产品质量和生产效率的影响，并根据实验结果进行调整和优化。锻造工艺参数的选择和优化是一个持续改进的过程。随着生产经验的积累和技术的发展，需要不断对工艺参数进行调整和优化，以适应新的生产需求和挑战。

3 温度参数对金属材料性能的影响

3.1 锻造温度的选择和控制在

温度是金属材料锻造过程中一个至关重要的工艺参数，它对金属材料的性能、微观结构和锻造过程的可行性具有显著影响。温度参数对金属材料性能的影响，随着温度的升高，金属材料的塑性通常会提高，这是因为高温下原子间的结合力减弱，金属更容易发生变形。然而，过高的温度可能导致金属过度软化，反而降低其塑性。金属的强度通常随着温度的升高而降低。高温会削弱金属内部的原子结合力，导致金属在受力时更容易发生变形或断裂。锻造温度会影响金属的微观结构，包括晶粒大小、相变和析出物的形成等。适当的温度可以促进晶粒细化，提高金属的力学性能；而温度过高则可能导致晶粒粗化，降低材料的性能。在高温下锻造，金属的热裂敏感性增加。热裂是由于金属在凝固过程中产生的收缩应力超过其抗拉强度而产生的。因此，选择适当的锻造温度对于防止热裂至关重要^[2]。

锻造温度的选择和控制在，基于材料性质：选择锻造温度时，首先要考虑金属材料的性质，如熔点、热导率、热膨胀系数等。通常，锻造温度应选择在金属再结晶温度以上，以便获得良好的塑性和流动性。根据产品的最终用途和性能要求，选择合适的锻造温度。例如，对于需要高

强度和良好韧性的产品，可能需要选择较低的锻造温度。加热速度和保温时间对金属材料的温度和均匀性有重要影响。过快的加热速度可能导致金属内部温度不均匀，产生热应力；而保温时间过短则可能导致金属未能充分达到锻造温度。在锻造过程中，需要实时监测和控制金属的温度。这可以通过使用温度测量仪器和控制系统来实现。根据测量结果，可以及时调整加热速度和锻造速度，以确保金属在合适的温度下进行锻造。

3.2 保温时间的影响

保温时间是在金属材料锻造过程中，将金属加热到锻造温度后保持该温度不变的时间段。保温时间对金属材料的组织和性能有着显著的影响。保温时间的影响，均匀加热：保温时间允许金属内部温度达到均匀分布。当金属被加热时，由于材料内部热传导的不均匀性，可能存在温度梯度。通过保温，热量有更多的时间从外部传递到内部，从而减少温度梯度，确保整个金属块体温度均匀。晶粒长大：在保温阶段，金属中的晶粒有足够的时间长大。如果保温时间过长，可能导致晶粒过度长大，从而降低材料的力学性能，如强度和韧性。因此，需要控制保温时间，以在获得均匀温度的同时，避免晶粒过大。相变完成：某些金属材料在加热过程中会发生相变，如奥氏体向珠光体的转变。保温时间提供了足够的时间让这些相变过程完全进行，从而确保金属在锻造过程中达到预期的微观结构。减少应力：适当的保温时间有助于减少金属内部的热应力。当金属被快速加热时，不同部分之间的热膨胀差异可能导致内应力。保温允许金属缓慢膨胀，减少或消除这些应力。能源效率：虽然保温时间有助于金属均匀加热和相变完成，但过长的保温时间也会浪费能源。因此，在确定保温时间时，需要找到一个平衡点，既确保金属得到充分的处理，又避免不必要的能源浪费。

4 变形参数对金属材料性能的影响

4.1 变形速率的选择和控制

变形参数，特别是变形速率，对金属材料在锻造过程中的流动行为、微观结构演变以及最终产品的力学性能有着显著的影响。以下是关于变形速率对金属材料性能的影响，以及变形速率的选择和控制方面的概述：

变形速率对金属材料性能的影响，随着变形速率的增加，金属的流动应力通常会升高。这是因为变形速率加快时，金属内部原子和晶粒来不及完全适应外加载荷，导致应力集中和局部应变增加。变形速率会影响金属材料的微观结构演变。高速变形可能导致晶粒细化，因为晶粒在高速应变下更容易发生破碎和重新排列。然

而，过高的变形速率也可能导致微观结构的不均匀性增加。变形速率的变化还会影响锻造过程中的热效应。高速变形会产生更多的热量，导致金属温度升高，这可能进一步影响金属的流动性和微观结构。变形速率对金属材料的最终力学性能有着重要影响。通常情况下，较低的变形速率有利于提高金属的强度和韧性，因为它允许金属在变形过程中更好地适应外加载荷，减少内部缺陷和应力集中^[3]。

变形速率的选择和控制，在选择变形速率时，首先要考虑金属材料的特性，如塑性、强度、热导率等。不同的材料对变形速率的敏感性不同，因此需要根据材料的性质选择合适的变形速率。产品要求：变形速率的选择还应考虑产品的最终要求。例如，对于需要高强度和良好韧性的产品，可能需要选择较低的变形速率以获得更均匀的微观结构和更好的力学性能。锻造设备的性能和能力也是选择变形速率的重要考虑因素。设备的最大变形速率和控制能力限制了可选的变形速率范围。在锻造过程中，需要实时监控和控制变形速率。通过调整设备参数和操作方式，可以确保变形速率在预设范围内波动，从而获得稳定的产品质量。

4.2 变形量与变形方式的影响

变形量和变形方式是锻造工艺中至关重要的参数，它们对金属材料的性能和微观结构有着深远的影响。以下是关于变形量和变形方式影响的概述：

变形量的影响，微观结构演变：变形量决定了金属材料在锻造过程中经历的塑性变形程度。随着变形量的增加，金属内部的晶粒会经历破碎、重新排列和细化，从而改变其微观结构。适度的变形量可以促进晶粒细化，提高材料的力学性能。力学性能：变形量对金属材料的力学性能有着显著影响。适量的变形可以提高金属的强度和硬度，改善其抵抗外力的能力。然而，过大的变形量可能导致金属产生过度的加工硬化，降低其塑性和韧性，使材料在受力时更容易发生断裂。形状和尺寸精度：变形量直接影响锻造后金属材料的形状和尺寸精度。足够的变形量可以确保金属充分填满模具，获得所需的几何形状和尺寸精度。然而，过大的变形量可能导致金属在模具中流动不均匀，产生缺陷或尺寸偏差。

变形方式的影响，锻造类型选择：变形方式决定了锻造的类型，如自由锻造、模锻、挤压等。不同的锻造类型适用于不同的金属材料 and 产品要求。例如，模锻适用于生产形状复杂、尺寸精度要求高的产品，而挤压则适用于生产长条形或管状产品。应力状态：不同的变形方式会导致金属内部产生不同的应力状态。例如，单向

拉伸会导致金属在拉伸方向上产生拉伸应力，而在压缩方向上产生压缩应力。这种应力状态对金属的性能和后续加工过程有重要影响。

材料流动和填充能力：变形方式还影响金属在锻造过程中的流动和填充能力。某些变形方式，如模锻，通过模具的设计可以控制金属的流动路径和填充顺序，从而确保金属充分填满模具的各个部分。

5 锻造工艺参数对金属材料性能影响的规律性与机制研究

5.1 工艺参数与金属材料性能之间的关系模型建立

锻造工艺参数对金属材料性能的影响表现出一定的规律性，并且这种规律性背后存在着复杂的机制。（1）规律性，随着温度的升高，金属材料的塑性通常会增加，这是因为高温能降低原子间的结合力，使得金属更容易发生塑性变形。一般来说，变形速率的增加会导致金属材料的强度提高，这是由于变形速率增加时，金属内部的位错密度增加，抵抗外力的能力增强。随着变形量的增加，金属材料的晶粒会细化，从而提高材料的强度和硬度。（2）机制，工艺参数的变化会导致金属材料内部晶粒的大小、形状和取向发生变化，这些变化进一步影响材料的宏观性能。在某些情况下，锻造工艺参数的变化会触发金属材料的相变，如奥氏体向马氏体的转变，或者导致某些析出物的形成，这些都会影响材料的性能。不同的工艺参数会导致金属材料内部产生不同的应力与应变状态，这些状态会影响材料的变形行为和最终性能。（3）关系模型建立，为了建立工艺参数与金属材料性能之间的关系模型，我们可以采用以下方法：设计一系列锻造实验，通过改变温度、变形速率和变形量等工艺参数，观察金属材料性能的变化。收集实验数据，利用统计分析和回归分析方法，探究工艺参数与金属材料性能之间的定量关系。基于实验数据和分析结果，建立工艺参数与金属材料性能之间的数学模型，如多元线性回归模型或神经网络模型。

5.2 微观结构演化与金属材料性能变化的关联性分析

微观结构演化与金属材料性能变化之间存在着密切

的关联性。金属材料的性能，如强度、硬度、塑性、韧性等，都是由其内部微观结构所决定的。第一、微观结构演化，微观结构演化涉及晶粒大小、晶界形态、相组成、位错密度等多个方面。锻造过程中，随着温度、变形速率和变形量等工艺参数的变化，金属材料的微观结构会发生相应的演化。例如，晶粒大小可能会随着变形量的增加而细化，相组成可能会因为温度的变化而发生转变，位错密度则会受到变形速率的影响。第二、金属材料性能变化，金属材料性能的变化是微观结构演化的直接体现。晶粒细化通常会导致材料强度的提高和塑性的降低，相变则可能影响材料的硬度、韧性和耐腐蚀性。位错密度的增加通常会提高材料的强度，但也会降低其塑性。这些性能变化都是微观结构演化在宏观上的反映^[4]。第三、关联性分析、微观结构演化与金属材料性能变化之间的关联性可以通过实验观察和理论分析来揭示。例如，通过对比不同工艺参数下金属材料的微观结构和性能变化，可以发现它们之间的对应关系。

结束语

研究对锻造工艺参数对金属材料性能的影响进行了深入的探讨，并通过实验分析和理论解释，建立了工艺参数与金属材料性能之间的关系模型。期望通过更加系统和深入的研究，不断完善工艺参数与金属材料性能之间的关系模型，为金属加工行业的可持续发展和产品质量的不断提升做出更大的贡献。同时，我们也期待与更多同行进行交流和合作，共同推动金属材料领域的研究进展和应用创新。

参考文献

- [1]孙博.锻造工艺参数对金属材料性能的影响[J].锻压装备与制造技术, 2021, 56(7): 123-127.
- [2]张超.基于实验分析的锻造工艺参数对金属材料性能的影响[J].精密成形工程, 2021, 13(4): 56-60.
- [3]王艳.锻造工艺参数对金属材料疲劳性能的影响研究[J].锻压技术, 2021, 46(5): 134-139.
- [4]高志远.锻造工艺参数对金属材料韧性的影响[J].热加工工艺, 2021, 50(10): 85-88.