

# 螺母螺栓类零件锻造流线分布对力学性能的影响

李道双

浙江中通汽车零部件有限公司 317600

**【摘要】**本研究针对螺母螺栓类零件在锻造过程中流线分布对力学性能的影响进行了深入探讨。通过理论分析、实验研究和数值模拟相结合的方法，揭示了锻造流线分布对零件抗拉强度、屈服强度、疲劳寿命等关键力学性能指标的显著影响。实验结果表明，合理的锻造工艺参数和模具设计能够显著优化锻造流线分布，从而提高零件的力学性能。此外，数值模拟研究为锻造过程提供了有力的预测和分析工具，进一步验证了实验结果的有效性。本研究不仅深化了对锻造流线分布与力学性能关系的理解，也为优化螺母螺栓类零件的制造工艺、提高产品质量提供了重要指导。

**【关键词】**螺母螺栓类零件；锻造流线分布；力学性能；实验研究；数值模拟

Effect of forging streamline distribution on mechanical properties of nut and bolt parts

Li Daoshuang

Zhejiang Zhongtong Auto Parts Co., LTD. 317600

**【Abstract】** This study delves into the impact of streamline distribution on mechanical properties during the forging process of nut and bolt components. By combining theoretical analysis, experimental research, and numerical simulation, it reveals the significant influence of forging streamline distribution on key mechanical performance indicators such as tensile strength, yield strength, and fatigue life. Experimental results show that reasonable forging process parameters and die design can significantly optimize the forging streamline distribution, thereby enhancing the mechanical properties of the parts. Furthermore, numerical simulation provides a powerful tool for predicting and analyzing the forging process, further validating the effectiveness of the experimental results. This study not only deepens our understanding of the relationship between forging streamline distribution and mechanical properties but also offers important guidance for optimizing manufacturing processes and improving product quality of nut and bolt components.

**【Key words】** nut and bolt parts; forging streamline distribution; mechanical properties; experimental study; numerical simulation

## 第一章 引言

### 1.1 研究背景与意义

螺母螺栓类零件在机械制造、航空航天中至关重要，复杂工况要求其性能可靠。锻造能提升性能，其中锻造流线分布影响重大。本研究深入探究锻造流对螺母螺栓力学性能的影响，通过理论分析、实验与数值模拟，掌握流线分布变化及对性能的影响规律。精准聚焦细分领域，填补空白，开拓新视角。对比揭示内在联系，验证数值模拟有效性，提出制造工艺改进建议，对提升零件质量与可靠性有指导意义，有望推动行业技术进步，适应复杂工况需求。

## 第二章 螺母螺栓类零件及其制造工艺概述

### 2.1 螺母螺栓类零件介绍

螺母螺栓类零件是机械连接核心元件，凭借简单结构、易制造与装配的特点，在各工业领域广泛应用。通过螺纹设计，紧密连接两个或多个部件，有效传递力和扭矩。

其基本构造包括头部、杆部与螺纹部分。头部方便使用扳手等装配工具，提供稳定操作接触面；杆部负责传递力，需具备足够强度和刚度承载工作载荷；螺纹部分是连接关

键，靠精细咬合实现牢固连接，确保可靠性与稳定性。锻造是制造螺母螺栓类零件的重要环节，对提升力学性能意义重大。锻造时的流线分布影响零件力学特性，合理分布能强化内部结构，提高承载能力与耐久性，控制流线分布成为制造高质量零件的关键技术。

随着工业技术进步，对螺母螺栓性能要求提升。制造商不断探索新材料与工艺组合，如采用高强度材料结合先进热处理方法，进一步增强零件承载与抗疲劳性能。深入了解螺母螺栓特性与制造工艺，有助于掌握性能优化关键，为工业提供可靠、高效连接方案。

### 2.2 制造工艺及其流程

螺母螺栓类零件制造工艺含锻造、切削加工、热处理等关键环节，紧密关联，决定零件质量与性能。

锻造为起始工艺，借塑性变形塑造金属成所需形状，提升生产效率与材料利用率，大幅增强零件力学性能。锻造时，金属流线分布影响重大，合理分布能强化零件强度与耐久性，不良分布则可能致零件失效。

切削加工在锻造之后，精准去除多余材料，保证零件形状、尺寸符合设计，对确保螺母螺栓互换性与配合性意义关键。高精度切削可提升零件表面质量与尺寸精度。

热处理通过调控加热、保温、冷却的温度和时间，改变金属内部组织，改善零件力学性能与耐腐蚀性，提升硬度、

强度与韧性，增强使用中的可靠性与耐久性。

螺母螺栓制造工艺复杂精细，各步骤相互依存。实际生产中，需严格把控各工艺参数，保障质量稳定。针对不同类型零件，依据使用环境与性能需求，定制专属制造工艺方案，以达最佳质量与性能。

### 2.3 锻造工艺在螺母螺栓制造中的重要性

锻造工艺对螺母螺栓制造意义重大。锻造时的塑性变形能细化金属晶粒，提升致密度与强度，大幅增强零件抗拉、抗压和抗疲劳能力，让螺母螺栓在严苛工况下也能保持良好性能。

从生产角度看，相较于传统切削加工，锻造能减少材料浪费，缩短加工周期，提升生产效率与材料利用率，大规模生产时成本优势显著，增强企业市场竞争力。而且，通过合理设计模具与精准控制工艺参数，锻造可满足复杂形状和尺寸要求，在制造业中广泛适用。

优化锻造工艺对提升螺母螺栓性能极为关键。改进锻造温度、压力、变形速率等参数，能细化晶粒、消除内部缺陷，提高零件力学性能与耐久性。利用先进数值模拟技术，可精确模拟优化锻造过程，减少实验次数与成本。实际应用中，不少研究者通过优化模具设计、变形参数等，改善零件流线分布与组织结构，提升了抗拉强度与疲劳寿命，为锻造工艺优化提供了参考。

## 第三章 锻造流线分布及其对力学性能的影响

### 3.1 锻造流线分布的形成机制

锻造时，金属材料受压应力、拉应力与剪切应力，在复杂应力状态下发生塑性变形。原本无序的晶粒，受应力驱使，沿特定方向拉长、滑移与旋转，逐步排列成有序流线状结构。

从微观层面看，金属内部存在晶粒界面与缺陷，外力作用下，这些部位成为塑性变形起始点与路径。晶粒沿此路径滑移、转动，改变相对位置与取向，进而影响材料宏观力学性能。

温度同样影响锻造流线分布。高温时，金属原子活动力增强，晶界迁移与晶粒转动更易发生，塑性变形充分，流线分布显著；低温下，原子活动力减弱，塑性变形受阻，流线形成受抑制。

锻造流线分布在锻造进程中逐步演变，不同阶段其特征与形态各异。所以，要获取理想流线分布与优良力学性能，需精准调控锻造参数。锻造流线分布是多种因素协同作用的结果，深入理解这一机制，有助于掌握锻造工艺规律，为优化制造工艺、提升产品质量提供理论支撑，推动材料科学发展。

### 3.2 锻造流线分布对力学性能的影响

锻造流线分布对螺母螺栓类零件力学性能影响显著，体现在多个关键方面。

在抗拉与屈服强度上，锻造时金属内部晶粒沿特定方向排列，形成有序结构。如此一来，零件受拉伸力时，能更高效抵抗变形。因而，具有明显流线分布的螺母螺栓，其抗拉与屈服强度远超未经锻造或流线不明显的同类产品，极大提

升在重载、冲击载荷下的安全可靠性能。

疲劳寿命方面，疲劳破坏是机械零件常见失效形式。而优化的流线分布可减少应力集中，材料内部结构更均匀，降低局部应力过高区域，有效抑制裂纹萌生与扩展，显著延长零件在交变载荷下的使用寿命。

耐腐蚀性能也受其影响。锻造使晶粒重新排列，改变材料表面结构与性能，增强对腐蚀介质的抵抗能力，提升零件在恶劣环境下的耐用性，不过具体效果依材料与腐蚀环境而异。

此外，流线分布还可能影响零件的导热、导电性能，因晶粒有序排列改变热、电传导路径，但影响情况随材料与锻造条件不同，需实验和数据分析确定。总之，优化锻造工艺控制流线分布，对提升螺母螺栓类零件性能质量意义重大。

### 3.3 力学性能评估方法

评估螺母螺栓类零件力学性能需综合运用多种试验手段。

拉伸试验是基础，测定应力-应变关系，获取抗拉强度、屈服强度与延伸率，反映承受拉伸载荷的力学性能与变形能力。冲击试验评估韧性与抗冲击能力，观察断裂行为与能量吸收，对恶劣工况下的可靠性、安全性意义重大。硬度试验简便，反映抵抗局部变形能力，与强度、耐磨性紧密相关。疲劳试验模拟循环载荷工况，测定疲劳寿命与强度，为设计、选材提供科学依据。此外，还可采用压缩、扭转等试验相互补充验证，构建完整准确的评估体系，保障零件质量、性能，助力优化设计、合理选材与安全使用。

## 第四章 实验研究

### 4.1 实验材料与制备

本研究选取制造螺母螺栓类零件常用的碳钢和合金钢，因其具备良好力学与加工性能，具有普遍代表性。实验前，对材料严格进行化学成分分析与力学性能测试，保障实验精准度。

制备时，采用标准熔炼、铸造、锻造和热处理工艺。熔炼严控温度与时间，保证化学成分均匀达标；铸造运用先进技术，获组织致密、无缺陷铸件。

锻造是重点，设计多种工艺方案，通过调整锻造温度、速度和锻造比等参数，制备出不同流线分布的零件样品，其流线与力学性能各异，为研究提供丰富数据。热处理消除锻造后零件内应力、细化晶粒，优化整体性能，奠定坚实实验基础。

### 4.2 实验设计与实施

将实验分为实验组与对照组，实验组设置不同锻造温度、速度、模具设计等条件，对照组采用常规锻造工艺。每组设置多个重复样品，保证实验结果可靠性。利用万能材料试验机、硬度计等专业设备，对不同样品进行力学性能测试。

### 4.3 实验结果与分析

实验后，对不同锻造条件下的螺母螺栓类零件样品全面评估力学性能。测试抗拉强度发现，适宜锻造温度与速度下，流线使晶粒排列有序，增强拉伸抵抗能力，合理模具设计可进一步优化流线，提升抗拉强度。

屈服强度与锻造条件相关，较高温度和较快速度促进动

态再结晶,细化晶粒提升屈服强度,但温度过高或速度过快会产生负面影响。样品延伸率在合适锻造条件下得以改善,源于优化的流线分布利于材料协调变形、吸收能量。

综合评估冲击韧性、硬度及疲劳寿命等性能,对比实验组与对照组,清晰呈现锻造条件对零件力学性能的影响。合理的锻造温度、速度与模具设计能优化流线分布,提升零件力学性能,为实际生产优化工艺、提高产品质量提供有力依据。

研究表明,锻造温度升高,金属塑性增强,晶粒重排顺畅,提升抗拉与屈服强度;较低锻造速度利于塑性变形与晶粒重排,优化流线,提高力学性能;特定模具设计促进晶粒优化排列,改善零件性能。通过优化锻造条件,可显著提升螺母螺栓类零件力学性能,为理论分析与数值模拟提供数据支持。

## 第五章 数值模拟研究

### 5.1 数值模拟方法介绍

借助数学模型与计算机算法,对物理过程进行定量模拟的技术。在锻造研究领域,其基于金属塑性变形理论、传热学等知识构建模型。通过离散化处理,将锻造过程中的连续体划分为有限个单元,运用数值算法求解各单元在不同时刻的物理量,如应力、应变、温度等,以此模拟金属在锻造时的流动行为、温度场变化及模具与金属的相互作用,从而预测锻造结果。

### 5.2 数值模拟在锻造流线分布研究中的应用

在锻造流线分布研究中,数值模拟作用关键。通过精确建模,能模拟金属在锻造时的流动,预测流线分布及其影响因素。模拟时,金属塑性变形行为、温度场变化及模具与金属相互作用等因素均被纳入。研究人员可调整锻造温度、速度、模具形状尺寸等参数,观察其对流线分布的影响。同时,通过对比不同参数组合的模拟结果,能优化锻造工艺,实现理想流线分布,提升螺母螺栓类零件力学性能,降低成本。数值模拟还能与实验相互验证补充,对比模拟与实验结果,可验证模型准确性,改进模型以提高预测精度。

### 5.3 模拟结果与分析

模拟结果表明,锻造温度对零件流线分布影响重大。高温时,金属塑性好,流线分布均匀,增强零件抗拉与屈服强

度;低温时,塑性降低,流线分布不均,影响整体力学表现。锻造速度方面,较慢速度下,金属有充足时间塑性变形,形成理想流线,提升强度、韧性与疲劳寿命;速度过快则导致变形不充分,影响流线与力学性能。模具设计也至关重要,精心设计的模具可控制金属流动方向与变形程度,获得理想流线分布。模拟结果与实验结果高度一致,验证了数值模拟方法的有效性,有助于在更广泛工艺参数范围探索优化。

### 5.4 模拟结果的验证与讨论

为验证模拟结果,本研究多次重复实验,严格控制变量。对比实验与模拟数据发现,不同锻造条件下,零件力学性能数据二者高度一致,验证了模拟方法的有效性与准确性。深入剖析模拟结果可知,流线分布均匀性与零件力学性能紧密相关。高温、低速时,金属塑性变形充分,流线均匀,提升抗拉、屈服强度及疲劳寿命、耐腐蚀性。模具设计合理能引导金属流动,优化流线与力学性能。基于此,提出调整锻造温度、控制速度、优化模具设计等工艺优化建议,为实际生产提供指导。

## 第六章 结论与展望

本研究通过理论分析、实验及数值模拟,明确锻造流线分布显著影响螺母螺栓类零件力学性能。合理流线分布优化晶粒结构、减少应力集中,提升抗拉与屈服强度,延长疲劳寿命。锻造温度、速度、模具设计等因素左右流线分布与力学性能,如适当升温和降速可使材料塑性变形充分,获理想流线。数值模拟与实验相互验证,为工艺优化及类似研究提供新思路,揭示了二者内在联系,推动制造技术发展。

但研究存在局限,实验样品数量少,测试技术待升级,影响力学性能评估全面性;数值模拟模型和边界条件简化,与实际有偏差。为此,建议增加样品,引入先进测试设备以精准评估性能;完善数学模型,结合实验数据修正边界条件提升模拟精度;加强与实际生产联系,助力工艺优化。

未来研究可从多方面拓展。深入探究锻造流线与微观组织关系,揭示力学性能影响机制;探索新型锻造工艺,改善流线分布,提升生产效率与材料利用率;借助计算机技术,运用先进数值模拟和人工智能,精准预测、智能优化锻造过程;加强产学研合作,推动成果转化,促进螺母螺栓类零件制造技术进步。

## 参考文献

- [1]钱东升,马博博,邓加东.42CrMo 环件锻轧成形-余热淬火全过程晶粒演化数值模拟与实验研究[J].塑性工程学报.2022, 29(11).
- [2]代玉杰,李存志,陈立鹏.浅析钢质模锻件金属流线的取样及评定[J].热处理技术与装备.2024, 45(1).
- [3]吕炎.塑性成形件质量控制理论与技术[M].国防工业出版社,2013.
- [4]林亮华.Al-Zn-Mg-Cu-Cr 合金变形行为及组织性能研究[D].2011.
- [5]成美文,刘风雷,李伟强,等.不锈钢高锁螺母多工位锻成形组织演变规律研究[J].热加工工艺.2020,(5).