

注塑机抽拉杆的有限元分析及疲劳预测

徐鹤, 董凌波

(德马格塑料机械(宁波)有限公司, 浙江 宁波 315800)

摘要: 注塑机抽拉杆结构是一种便于在有限厂房空间内实现更换模具的技术。相比较传统拉杆, 由于其受力条件更为复杂, 故对其材料的机械强度有更高要求。本文采用 Creo Simulate 的有限元分析工具分别对常用的 31CrMoV9V 与 42CrMo4V 两种材料进行应力和变形分析并对其做出疲劳预测, 为实际生产提供相关参考依据。

关键词: 注塑机; 抽拉杆结构; 有限元分析; 疲劳寿命; Creo Simulate

中图分类号: TQ330.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)01-0050-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.01.011

拉杆是注塑机合模机构的重要承重零件, 用以连接模板形成封闭的框架结构, 在锁模过程中主要受到拉伸作用。

在实际应用中, 常将一根拉杆设计成抽拉杆结构, 实现拉杆轴向移动, 以便客户在自行吊装模具时不必将模具吊至高于上方两根拉杆位置, 减少对厂房高度要求。但此结构拉杆卸荷槽一端需要夹紧装置进行固定, 在锁模过程中比普通拉杆受力更为集中, 因此有必要对其进行力学性能分析。

本文采用 Creo 的 Simulate 仿真分析模块对此结构进行有限元分析, 并对比了 31CrMoV9V 与 42CrMo4V 两种材料的受力、变形与疲劳情况。

1 抽拉杆的有限元模型建立

1.1 几何模型

抽拉杆的基本结构与拉杆类似, 三维结构如图 1 所示。图中 1 部分与调模螺母配合, 为减少有限元网格数量, 简化为圆柱形; 2 部分为光滑杆结构; 3 部分为拉杆近前模板卸荷槽处, 也是夹紧装置固定处, 是本次力学性能研究重点, 故保留其圆角等细节构造。

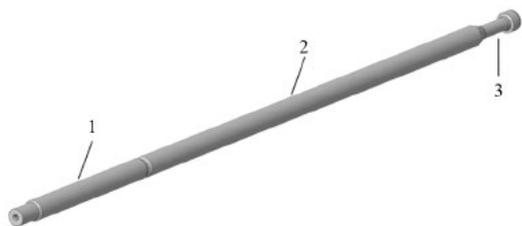


图 1 抽拉杆结构几何模型

1.2 网格划分

本次研究为了解赋予 31CrMoV9V 与 42CrMo4V 两种材料属性情况下抽拉杆的力学性能, 其材料属性如表 1 所示。

表 1 31CrMoV9V 与 42CrMo4V 材料属性

材料类型	杨氏模量 /GPa	拉伸屈服强度 /MPa	压缩屈服强度 /MPa
31CrMoV9V	195	980~1 180	785
42CrMo4V	210	780~930	560

设定最大元素为 10 mm, 使用 Creo 内置网格划分器 AutoGEM 进行网格划分, 共创建 251 104 个元素和 57 391 个节点。

根据拉杆的实际受约束和载荷情况, 与调模螺母配合处设置固定约束, 约束方向为轴向、径向两个方向。在锁模过程中, 前模板一端处拉杆受夹紧装置作用力, 具体模拟情况如图 2 所示。

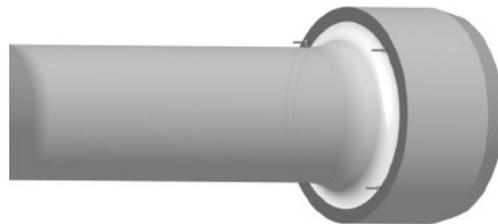


图 2 抽拉杆受载荷位置

作者简介: 徐鹤 (1982-), 男, 工程师, 本科, 主要从事注塑机合模部分研发和测试工作。

基金项目: 宁波市“科技创新 2025”重大专项科技攻关项目 (2018B10082)。

2 计算结果与分析

采用 Creo 中 Simulate 迭代求解器对有限元模型进行计算分析，有限元模型按机型实际最大锁模力 350 t 进行加载。（单拉杆为 87.5 t）

2.1 应力对比

图 3、图 4 分别为两种材料的抽拉杆应力云图。由图分析可知拉杆最大应力均出现于卸荷槽圆角处，这是明显的应力集中现象。由于 31CrMoV9V 和 42CrMo4V 材质接近，且仿真时受载一致，两者的最大 Von mises 应力分别 416.1 MPa 与 415.9 MPa，十分接近。

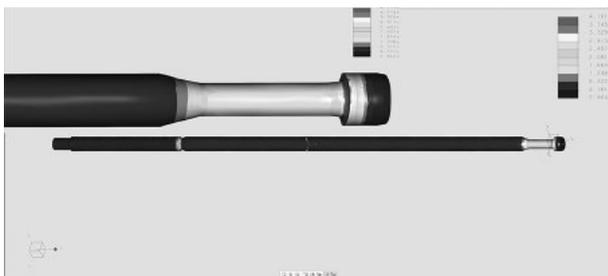


图 3 31CrMoV9V 抽拉杆应力云图

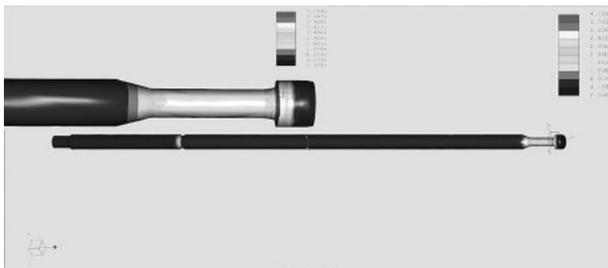


图 4 42CrMo4V 抽拉杆应力云图

2.2 变形对比

图 5、图 6 为两抽拉杆的位移云图。由图分析可知 31CrMoV9V 材料的抽拉杆最大位移为 1.54 mm；42CrMo4V 材料的抽拉杆最大位移为 1.43 mm。由此可得 42CrMo4V 材料的抽拉杆刚度较好。

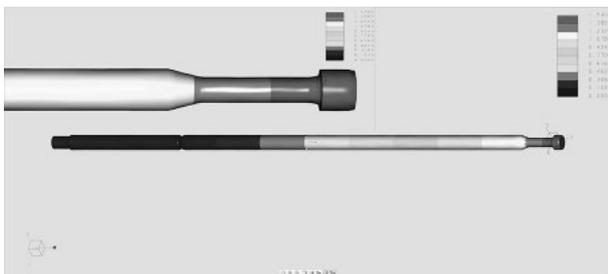


图 5 31CrMoV9V 抽拉杆位移云图

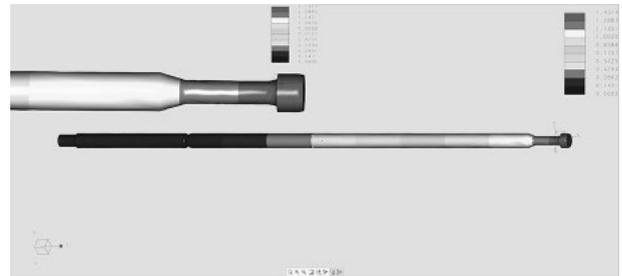


图 6 42CrMo4V 抽拉杆位移云图

荷，这种高负荷、高频率运行使得拉杆性能受影响，偶尔会发生疲劳断裂现象。针对此类情况，采用有限元分析法对抽拉杆进行疲劳分析十分必要。

抽拉杆的疲劳寿命分析以静力学分析结果为依据。设置恒定振幅载荷，从静力分析得到的应力乘以疲劳分析指定载荷因子，即可计算出一个生命周期的载荷变化。

3.1 疲劳分析方法概述

Creo Simulate 疲劳分析使用 $E-N$ 方（应变与疲劳失效周期）法，此方法适用于包含局部塑性区元件的疲劳分析。在疲劳试验中，不同材料类型受到各类循环载荷作用， $E-N$ 方法使用这些试验来测试疲劳寿命并绘制应变（ E ）与疲劳失效周期（ N ）的关系图。如图 7 为某低合金钢和铝合金的典型 $E-N$ 图。

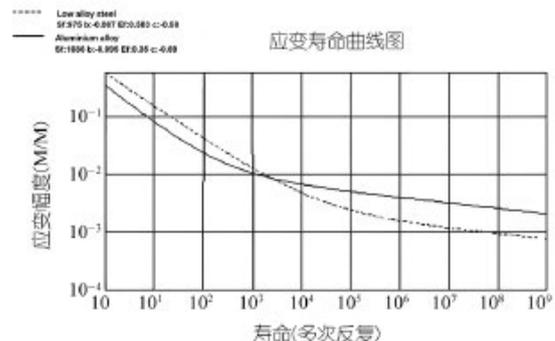


图 7 某低合金钢和铝合金的典型 $E-N$ 图

3.2 影响疲劳寿命的因素

影响抽拉杆疲劳寿命的因素众多，其中元件尺寸、载荷类型、应力集中、表面粗糙度是最主要的因素。它们之间是相互联系、相互作用的，因此需要综合考虑这些因素的影响。为了说明这些影响，通常将特定修正因子应用于试验结果，在 Creo Simulate 中，根据经验设定疲劳强度衰减因子来控制。

3.3 疲劳分析结果

基于前文所述对抽拉杆的静力学分析，在 Creo 的 Simulate 模块中建立疲劳分析研究。经过分析可分别

3 疲劳可靠性分析

注塑机拉杆在实际工作过程中长期受恒定交变载

得到 31CrMoV9V 材料的抽拉杆和 42CrMo4V 材料的抽拉杆的疲劳寿命安全因子云图和寿命置信度云图。

从图 8、图 9 可以看出 31CrMoV9V 抽拉杆疲劳寿命安全因子为 0.774 9, 42CrMo4V 材料的抽拉杆的疲劳寿命安全因子为 0.709 5。安全因子表示输入载荷的安全系数, 由此可以得到在不减少设计寿命情况下, 42CrMo4V 材料抽拉杆可施加的载荷振幅范围比 31CrMoV9V 材料抽拉杆小 8.4%。

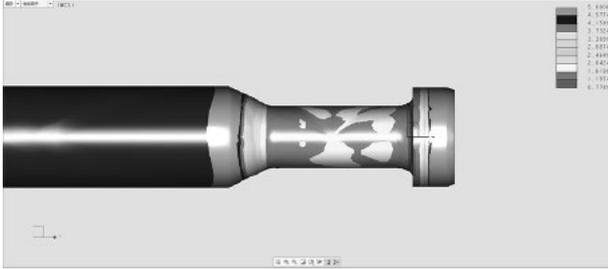


图 8 31CrMoV9V 抽拉杆疲劳寿命安全因子云图

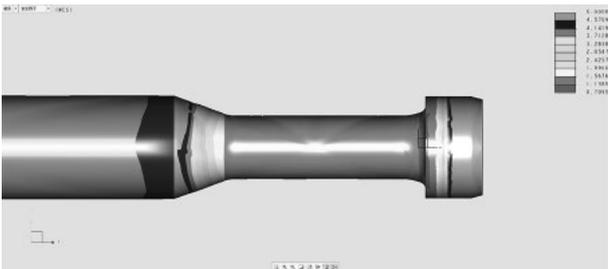


图 9 42CrMo4V 抽拉杆疲劳寿命安全因子云图

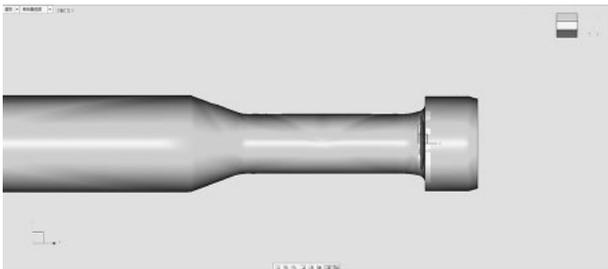


图 10 31CrMoV9V 抽拉杆寿命置信度云图

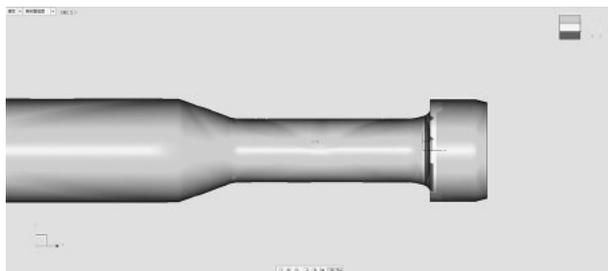


图 11 42CrMo4V 抽拉杆寿命置信度云图

图 10、图 11 表示两杆的寿命置信度, 寿命置信度表示计算出的寿命与目标设计寿命之比, 小于 1 的值表示失效, 值大于 3 通常表示获得所需目标寿命的

置信度是足够的。可以发现, 抽拉杆的卸荷槽圆角处出现了疲劳应力极限, 此区域易发生疲劳破坏。与静力分析中应力集中部位一致, 由此也可判断疲劳分析结果是可信的。

为进一步判断两类材料的生命周期, 可从图 12、图 13 两类拉杆的生命周期云图中得知, 31CrMoV9V 材料抽拉杆生命周期为 $1E5.7131$; 42CrMo4V 材料抽拉杆生命周期为 $1E5.5097$, 其值表示模型破坏前的预估周期数。由此可知 31CrMoV9V 材料抽拉杆寿命较 42CrMo4V 材料的抽拉杆更长。

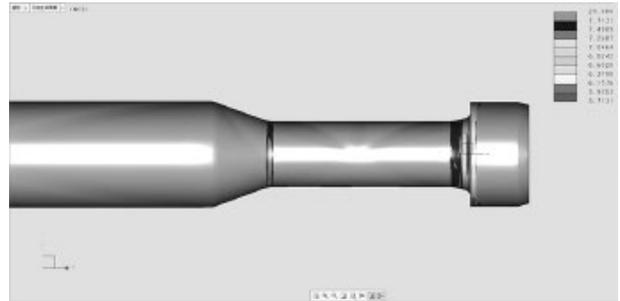


图 12 31CrMoV9V 抽拉杆生命周期云图

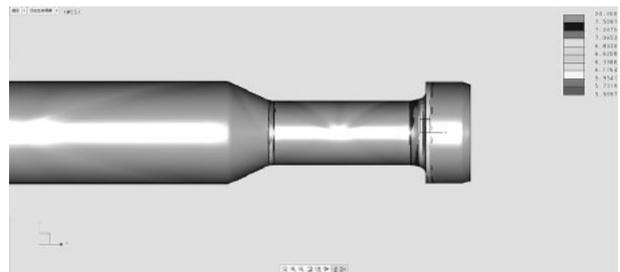


图 13 42CrMo4V 抽拉杆生命周期云图

4 结束语

本文通过 Creo 的 Simulate 模块对材料 31CrMoV9V 和 42CrMo4V 的抽拉杆进行有限元分析及疲劳预测分析。可知 31CrMoV9V 材料在刚度方面略低于 42CrMo4V 材料, 而在疲劳寿命上优于 42CrMo4V 材料, 在实际生产中可灵活运用两类材料的优势进行设计。

参考文献:

- [1] 龚雅萍. 材料力学测试与有限元分析技术在注塑机拉杆结构分析中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2005,(02):15-16.
- [2] 李尧. 注塑机拉杆有限元分析及应力测试实验对比 [J]. 梧州学院学报, 2008,(03):46-50.
- [3] 周雄新, 欧笛声. 注塑机拉杆与模板的有限元分析 [J]. 广西工学院学报, 2007(04) 报, 2007,(04):6 062+76.
- [4] 马继宏. 注塑机拉杆频繁断裂原因分析 [J]. 橡塑技术与装备, 2007,(02):50-52.

- [5] 胡明广, 李永华, 王剑, 等. 基于 FE-SAFE 的牵引拉杆疲劳可靠性分析 [J]. 大连交通大学学报, 2016,37(03):32-35.
- [6] 李莉, 谢里阳, 何雪法, 等. 疲劳寿命影响因素的试验研究 [J]. 中国机械工程, 2010,21(03):355-358.

Finite element analysis and fatigue prediction of injection molding machine pull rod

Xu He, Dong Lingbo

(Demag Plastic Machinery (Ningbo) Co. LTD., Ningbo 315807, Zhejiang, China)

Abstract: The pull rod structure of injection molding machine is a technology that facilitates the replacement of molds in limited factory space. Compared to traditional pull rods, due to its more complex stress conditions, it has higher requirements for the mechanical strength of the material. This article uses the finite element analysis tool Creo Simulate to conduct stress and deformation analysis on two commonly used materials, 31CrMoV9V and 42CrMo4V, and make fatigue predictions, providing relevant reference for practical production.

Key words: injection molding machine; pull rod structure; finite element analysis; fatigue life; Creo Simulate

(R-03)

大陆集团最新出售动向 The latest sales trend of Continental Group

2024 年 12 月 3 日大陆集团宣布将领先的智能车队管理提供商 Zonar 出售给云端物联网车队解决方案和 GPS 追踪领域的行业先驱 GPS Trackit。交易细节（包括财务条款）尚未披露。

该交易遵循了大陆集团去年宣布的汽车集团行业战略，该战略以关注其核心优势和精简其业务运营为中心。

大陆集团执行董事会成员兼汽车业务负责人 Philipp von Hirschheydt 表示：“出售 Zonar 的决定是我们更广泛的汽车战略的一部分，旨在加强我们的重点并增强我们的基本实力。随着市场的不断发展，我们对价值创造的关注是我们战略努力的基石。大陆集团致力于利用创新和卓越运营来加强其在市场上的地位，通过进一步投资其核心竞争力来优先实现增长。”

Zonar 成立于 2001 年，总部位于美国华盛顿州西雅图，拥有 300 多名员工。该公司在职业、学生、公共交通和商业卡车运输行业中率先推出了智能移动解决方案。Zonar 的使命是通过可操作、创新和人工智能支持的洞察力来提高客户的安全性、性能和成功率。

GPS Trackit 首席执行官 Charles Kriete 表示：“我们非常高兴欢迎 Zonar 加入 GPS Trackit 大家庭。此次收购标志着我们在提供创新、以客户为中心的车队管理解决方案的使命上迈出了重要一步。通过将我们的优势（例如我们一流的视频平台）与 Zonar 的先进技术和行业专业知识相结合，我们准备为客户创造无与伦比的价值，并作为整体客户满意度方面的两大行业领导者进一步颠覆市场。我们期待在 Zonar 卓越的传统基础上再接再厉，共同推动变革性增长。”

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)