文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

无人机航空铝合金 7075-T6 车削数值模拟

方平
滁州职业技术学院 机械与汽车工程学院 安徽滁州 239000
DOI：10.32629/ems.v8i10.22590

[摘 要] 针对无人机航空铝合金 7075-T6 车削中应力与温度的分布问题，建立 WC-Co 硬质合金刀具车削无人机航空铝合金 7075-T6 的有限元模型，并在刀尖邻近区域及主要变形区做局部网格细化。按初始接触、切屑形成、切屑卷曲、稳定车削四个阶段提取 Mises 等效应力与温度场。结果显示，高应力区始终位于刀尖附近的主变形区与切屑根部，四个阶段的最大 Mises 等效应力依次为 498.42、500.14、493.86 和 495.38 MPa，峰值差异很小。切屑一旦形成并卷曲，其内部应力随之下降，而刀尖前方的新材料剪切区仍保持高应力。温度则先升后降：初始阶段为 43.54 ℃，切屑形成阶段升至 171.23 ℃，卷曲阶段达到最高的 184.29 ℃，稳定车削阶段回落至 166.77 ℃。高温区集中在切屑根部与刀具－切屑接触带，并顺着切屑流动方向向已形成切屑扩展。在所模拟工况下，无人机航空铝合金 7075-T6 车削中应力集中的位置几乎不随阶段迁移，温度则随切屑的形成与流出回落。

[关键词] 7075-T6 铝合金；车削；有限元分析；Mises 等效应力；温度场

引言

无人机航空铝合金7075-T6属于Al－Zn－Mg－Cu系高强铝合金，密度低、比强度高，在航空航天和轻量化结构件中用得较多。这类零件的尺寸精度与表面质量多由车削保证。车削时，工件材料在刀具挤压和剪切下发生局部塑性变形、损伤直至切屑分离，塑性材料与刀具－切屑界面摩擦同时生热。应力与温度的变化共同支配材料流动和切屑形成，要理解无人机航空铝合金 7075-T6 的切削变形行为，需要先弄清应力场与温度场如何随车削推进而演化。

车削的变形与传热都集中在很小的区域内，且随时间快速变化。刀尖附近的主变形区和刀具－切屑接触区内，应力、温度与塑性应变分布并不均匀，刀具切入、切屑卷曲都会改变其分布。实验可以测得切削力、切屑形态和部分温度信息，但受空间与时间分辨率的限制，切屑根部及刀具接触区内部的应力与温度演化很难直接观测。有限元方法把材料变形、接触摩擦与热传递放进同一个模型求解，下面的分析即按这一思路展开。

单看某一时刻的场变量分布，看不出切屑是怎样形成和发展的。把初始接触、切屑形成、切屑卷曲和稳定车削四个阶段放在一起比较，才能看清高应力区与高温区在何处生成、又如何移动，也才能把剪切变形、切屑流动和局部热量积累三者对应起来。Mises 等效应力刻画材料的局部应力状态，温度场给出车削热的空间分布，两类场量叠合分析，可以判断变形集中区与热量集中区是否重合。

为此，本文建立 WC-Co 硬质合金刀具车削无人机航空铝合金 7075-T6 的有限元模型，对刀尖邻近区域和主要车削变形区做局部网格细化，逐阶段提取 Mises 等效应力场与温度场。比较各阶段的峰值应力、最高温度及二者的空间位置，梳理切屑形成与卷曲过程中 7075-T6 铝合金局部应力、温度的演化路径。

1. 数值分析

车削无人机航空铝合金 7075-T6 的有限元模型如图 1 所示，刀具与工件均离散为六面体单元，整体网格尺寸 0.1 mm。刀尖与工件的接触区变形剧烈，热－力耦合作用集中，因此对刀尖邻近区域和主要车削变形区再做一次局部细化，最小单元尺寸取 0.05 mm，在提高应力场、温度场与塑性变形计算精度的同时控制计算规模。网格划分完成后，在工件底部和左侧边界施加固定约束，限制整体刚体位移。

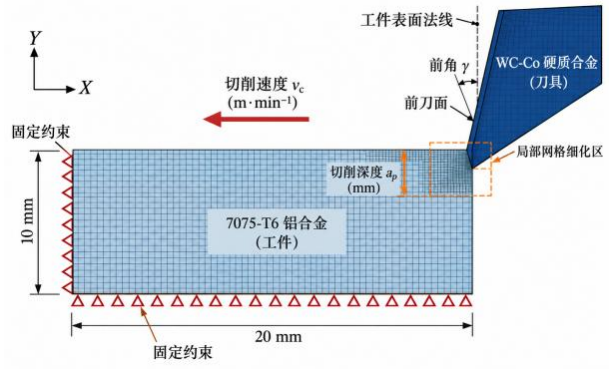

图 1 数值模型

2. 数值结果分析

2.1 Mises 应力场分析

图 2 给出了无人机航空铝合金 7075-T6 铝合金车削过程中的 Mises 等效应力场。刀具初始切入工件时，应力集中在刀尖附近的刀具－工件接触区，最大 Mises 应力为 498.42 MPa，见图 2(a)。刀具继续切入，刀尖前方材料发生明显塑性变形并开始形成切屑，高应力区随之移到主变形区与切屑根部，最大应力升至 500.14 MPa，如图 2(b)所示。切屑进一步弯曲、卷曲后，高应力区的位置没有再变，仍分布在切屑根部与刀尖邻近区域，最大 Mises 应力为 493.86 MPa，如图

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

2(c)所示。待卷曲切屑稳定流出，已形成切屑内部的应力整体下降，高应力只保留在新材料发生剪切变形的刀尖—切屑根部一带，最大应力为 495.38 MPa，如图 2(d)所示。

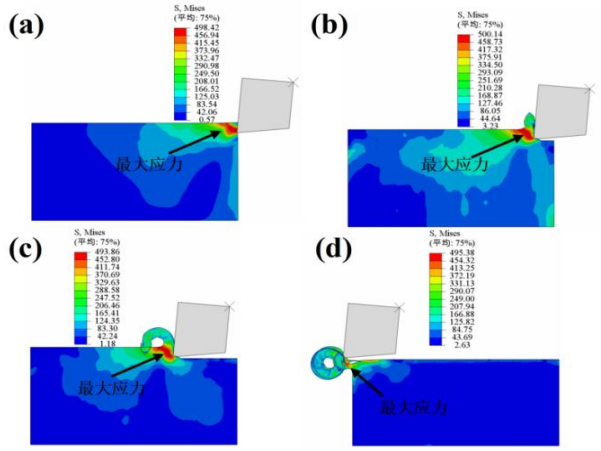

图 2　7075-T6 铝合金车削过程中不同车削阶段的 Mises 应力场分布

(a) 初始接触阶段；(b) 切屑形成阶段；

(c) 切屑卷曲阶段；(d) 稳定车削阶段

2.2 温度场的分析

图 3 给出的是同一过程中的温度场。车削初始阶段（图 3(a)），温升局限在刀尖与工件的接触区，最高温度仅 43.54 ℃。刀具持续切入，车削区温度迅速上升（图 3(b)），最高温度达 171.23 ℃，位置落在刀尖附近的切屑根部与刀具－切屑接触区。继续车削，最高温度升至 184.29 ℃（图 3(c)），为四个阶段中的最大值，峰值仍位于切屑根部与刀具前刀面邻近的接触区，高温区并沿切屑方向略有扩展。切屑卷曲并流出车削区之后（图 3(d)），最高温度回落到 166.77 ℃，高温区集中在卷曲切屑及其靠近刀尖的部分。四个阶段的最高温度由此构成一次完整的升降：43.54 ℃、171.23 ℃、184.29 ℃、166.77 ℃。整个过程里，最高温度的位置没有离开刀尖附近的切屑根部与刀具－切屑接触区，说明 7075-T6 铝合金车削热的产生与聚集都局限在这一小片区域内。

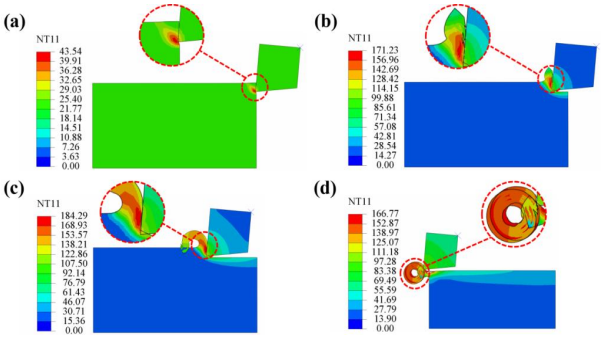

图 3　7075-T6 铝合金车削过程中温度场分布

(a) 初始接触阶段；(b) 切屑形成阶段；

(c) 切屑卷曲阶段；(d) 稳定车削阶段

3. 结论

（1）Mises 等效应力在无人机航空铝合金 7075-T6 车削过程中高度局部化，高应力区集中在刀尖附近的主变形区与切屑根部。四个阶段的最大值依次为 498.42、500.14、493.86 和 495.38 MPa，以切屑形成阶段最高，全部阶段的峰值只在 493.86～500.14 MPa 之间变动。

（2）切屑形成并卷曲之后，已形成切屑内部的应力整体降低，而刀尖附近与切屑根部仍维持较高应力；局部应力集中主要来自新材料持续发生的剪切变形。

（3）最高温度随车削推进先升后降，四个阶段依次为 43.54、171.23、184.29 和 166.77 ℃，峰值出现在切屑卷曲阶段。高温区局限于切屑根部与刀具－切屑接触区域，并随切屑流动向已形成切屑一侧扩展。稳定车削阶段温度虽已回落，局部温升依然明显。

[参考文献]

[1]栾晓明，胡斌梁，周知进. 7075-T6 铝合金单向超声振动车削表面质量及形貌特征[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版)，2014，29(2)：27-30.

[2]张生芳，孙恩灏，王国庆，等. 切削参数对 7075 铝合金铣削性能影响仿真分析[J]. 大连交通大学学报，2021，42(4)：38-43，50

[3]陈良骥，魏子森. 7075-T651 铝合金铣削参数与刀具几何参数的多目标同步优化方法[J]. 表面技术，2022，51(4)：263-274，384.

[4]邓辉，崔建昆. 基于 AdvantEdge 的 7075-T651 铝合金铣削参数有限元仿真优化[J]. 轻工机械，2022，40(4)：40-46.

[5]蒋宏婉，袁森，岳熙，等. 基于 Oxley-Welsh 理论的 7075 铝合金干切削过程应变硬化效应研究[J]. 工具技术，2022，56(8)：19-25.

基金项目：2025 年度安徽省质量工程-校企合作生产性共建共享实训基地（2025xqjd028）；

滁州职业技术学院校级自然科学研究项目(ZKY-2024-1)。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.