

不锈钢紧固件的锁死

PETER WITZKE 著, Bossard 专家团队首席负责人

不锈钢, 铝和钛制成的紧固件通常在锁紧时容易锁死。不锈钢紧固件分为奥氏体, 铁素体和马氏体等级。工业中最常用为奥氏体不锈钢紧固件。该类不锈钢材料中具有氧化铬层, 防止腐蚀。



当两种紧固件锁在一起时, 螺栓和螺母之间的螺纹表面形成表面压强, 可能使保护性氧化层脱落。在金属基底暴露的情况下 (由于氧化层被划伤), 紧固件之间的连接界面存在高摩擦, 可以导致表面的咬合作用; 这种现象称为锁死。摩擦系数越高, 越容易增加锁死的风险。



锁死是指螺纹的咬死或擦伤, 这种情况会因装配时连接元件咬死或者螺纹损坏而出现。也称为螺纹牙侧的局部冷焊 (摩擦粘连)。它通常在螺纹侧面通过彼此长时间的摩擦而形成。

图 1: 锁死的紧固件

不同热处理条件下不同类型的不锈钢材料, 锁死程度不同。下面表格中比较了 7 种不锈钢的锁死特性。这表明在特定负载下, 锁死时间可以从 7 秒至 58 秒不等。

型号	条件	初始硬度	表面处理	负载力(lbs)	锁死发生的时间 (秒)
416	热处理	43 Rc	无处理	400	12
416	热处理	43 Rc	扩散渗氮	1000	37
440C	热处理	59 Rc	无处理	800	17
440C	热处理	59 Rc	扩散渗氮	1100	41
440A	退火处理	96 Rb	无处理	650	15
440A	退火处理	96 Rb	扩散渗氮	1000	47
303	退火处理	85 Rb	无处理	只有预紧力	3
303	退火处理	85 Rb	扩散渗氮	750	25
303MA	退火处理	88 Rb	无处理	300	2
303MA	退火处理	88 Rb	扩散渗氮	1350	58
317	退火处理	85 Rb	无处理	500	7
317	退火处理	85 Rb	扩散渗氮	750	27
347	退火处理	89 Rb	无处理	600	8
347	退火处理	89 Rb	扩散渗氮	500	22

表 1: 锁死特性对比

锁死和成因

本节讨论在下列条件下各种导致锁死的成因和预防方法。

扭矩和锁死

VDI 2230 (紧固件技术准则) 里表明, 螺栓锁紧极限最高不能超过屈服强度的 90%。如果锁紧扭矩过高, 螺栓将过度拉伸甚至断裂。螺钉也可能由于扭力剪切力造成的螺纹锁死而断裂。

与许多其它材料组合的摩擦系数相比, 不锈钢对应不锈钢的摩擦系数相对较高。为了实现相同的预紧力, 使用奥氏体不锈钢材料 A1-A4 制成的螺栓必须使用比同等强度的普通钢螺钉更高的扭矩进行锁紧。

在螺纹锁死的情况下，锁紧扭矩值上升，却无法达到预紧力。有时，操作人员愿意增加额外的扭矩，使紧固件看起来安装就位，却并没有意识到发生的锁死问题。这种故障在锁紧操作期间几乎无法检测，从外部却又看不出来。维修或运行期间，紧固件却已无法再松开。

在锁死之后，螺栓/螺母不会出现旋转松动或丢失的问题，但是连接处在没有适当拉伸力作用的情况下，在运行负载时可能出现疲劳失效。

组装之前，润滑不锈钢紧固件，以及在紧固件上涂上固体润滑剂，已被证实为防止锁死的有效方法。（详见下文中的“预防锁死”一节）

制造过程和锁死

在肉眼观察下，各种螺纹形状的螺纹表面看起来可能都很光滑。但在显微镜下，螺纹成像可能在螺牙顶部位置出现褶皱。该故障源自辗牙模具设置不当。钝面螺牙顶部降低了螺纹成形螺钉的螺纹成形能力。



图 2：螺纹上的毛刺

有效力矩型螺母的内螺纹可能具有引起螺纹咬死的相似问题。这些被视为“隐形”故障。由于相同的原因，制造商也会更加关注自切和自攻紧固件的这类问题。在辗牙时产生毛刺（如图 1.3 所示）是导致锁死的常见问题之一。

高温紧固件和锁死

紧固件暴露于高温机器环境，典型发生在气轮机和柴油发动机中。高温可以改变材料的物理性质。由于高温侵蚀性气体可能在螺栓和螺母的表面上产生锈垢。热膨胀会导致永久变形。不考虑这种外部影响，紧固连接处必须保持所需的预紧力。此外，紧固件必须保持运行和维修作业时可以拆卸。

当紧固件和结构元件由不同的材料制成时，也会发生锁死。设计工程师在设计连接时应考虑高温带来的影响。

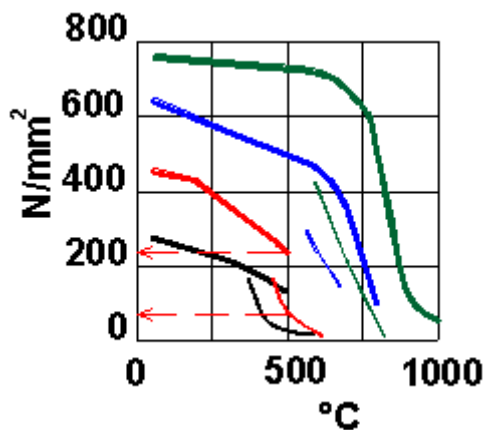


图 3: 屈服力/温度

以下是一些耐热螺栓材料在高温下屈服强度的例子（图 1.4）：

- Ck 35: 钢
- 24CrMo 5: 低合金钢
- X5 NiCrTi 2615: 奥氏体不锈钢
- NiCr 20 Co 18 Ti: 含钛的镍铬钴合金

高温和松弛是造成在运行和维修作业中螺纹锁死的主要根源。为了防止螺纹锁死，耐热螺栓的螺纹增加了螺纹间隙。



图 4: 高温紧固件

预防锁死

制造过程

在制造过程中，可以在线材上涂铜进行润滑，以防止模具发生锁死。铜涂在线材上可作为固体润滑剂。螺纹辗牙成形后，成品紧固件经过酸洗，可将铜去除。



图 5：涂铜的线材

表面涂层

防止螺纹啮合部位金属与金属的接触，可以降低或预防锁死的发生。

- 用“Molylub”润滑。固体二硫化钼颗粒防止金属接触，可以降低锁死。有些时候，普通润滑油或润滑剂可能不足以防止锁死。
- 含银、铝或铜颗粒的近似固体润滑剂也具有相应效果。这些润滑剂有助于降低摩擦系数。大多数在装配线上使用的防咬死化合物喷剂，都含有这些金属颗粒。我们不推荐使用含石墨的润滑剂，因为高温下，碳和铬会发生危险的反应。
- 薄薄一层 TEFLON 密封带可保护产品防止锁死。对于大型螺纹部件，如管道和阀门，可以用薄薄一层 TEFLON 密封带将螺纹缠绕起来。

用于不锈钢紧固件上的涂层如 Polyseal, Xylan, Delta[®]-Seal 或蜡，也可以防止锁死。

摩擦复合涂层

含氟聚合物涂料是树脂与含氟聚合物润滑剂的混合物。PTFE, PVDF, PFA 和 FEP 在高达 550°F 的温度下实现低摩擦、耐化学性和耐腐蚀性，且具有干燥、易脱或不沾粘的特点。Bossard ecosyn®-lubric 涂层是一种摩擦复合干性涂层系列产品。适用于机械应力下的紧固元件和部件（如螺钉、螺母、垫圈）。它是一种薄薄的非电解涂层，内部成分中具有润滑性能和额外的防腐保护。

涂层中包括含氟聚合物，以及有机固体润滑剂颗粒的合成物，分散在甄选的合成树脂和溶剂中。它被称为 AFC 涂层（抗摩擦涂层），可形成平滑的保护膜，均匀表面所有不规则的结构，因此即使在极端负载作业条件下也可以优化摩擦。合成树脂也确保了防腐效果的改善。

当润滑剂已经硬化之后，会形成薄薄一层牢固的干燥润滑膜，粘附在基底上。该润滑膜起到分离和润滑的作用，减少摩擦体之间因彼此接触形成的摩擦和锁死。

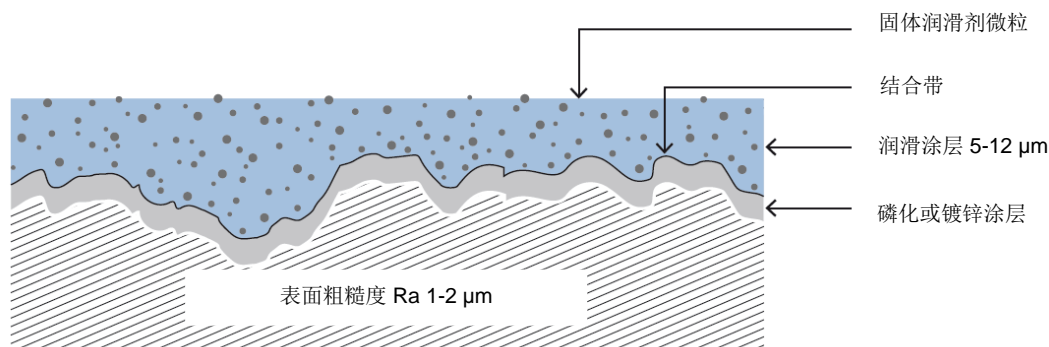


图 6: ecosyn®-lubric 涂层的构造

Bossard ecosyn®-lubric 摩擦涂层为需要控制摩擦系数以及防止锁死的应用提供了极好的解决方案。Bossard ecosyn®-lubric 的摩擦性能使紧固元件的锁死降至最低。ecosyn®-lubric 涂层还有助于保持预定的扭矩，实现正确的夹紧力。

总结

不锈钢紧固件在组装时经常容易锁死。在拧紧期间过度摩擦和产生的热量导致表面塑性变形，导致配合件咬死。使用润滑剂和智能涂层（如 Bossard ecosyn®-lubric），在螺纹成形时需特别小心，安装工具恰当的转速，保持清洁，以及正确的设计可以帮助减少或消除锁死。

密切关注以防锁死，不锈钢应当是利用价值非常高的紧固件材料，这源自其固有的耐腐蚀性和通常比普通低碳钢更高的拉伸强度。

参考书目

Budinski, K. G. (1991). Tribological Properties of Titanium Alloys. *International Conference on Wear of Materials*.

Producers, C. o. (1978). Review of the Wear and Galling Characteristics of Stainless Steel. *American Iron and Steel Institute*, 2-19.