

紧固件的热处理

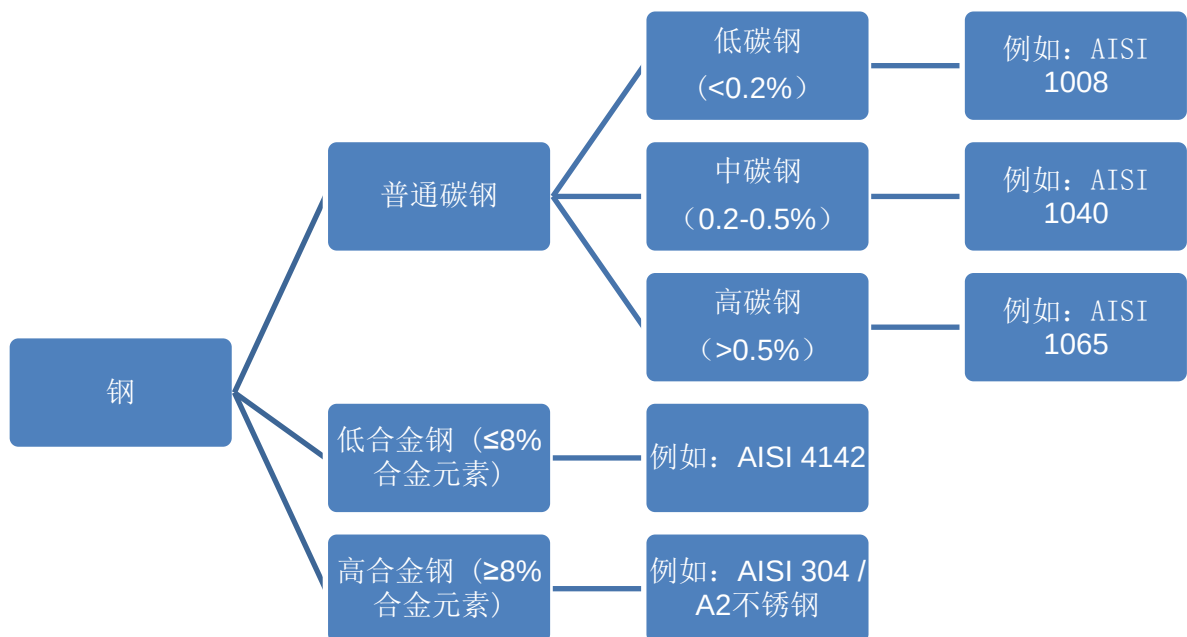
Fadi Saliby 著，Bossard 专家团队

简介

紧固件由各种不同材料制作而成。选择材料取决于其应用和环境。钢和不锈钢是最常用的材料，而铝和其它非铁素体合金材料的使用也很普遍。根据选择的材料，需要通过不同的工艺获得合适的机械性能。热处理是一种用来提高机械强度、延展性和韧性的方法，甚至对于某些合金来说可以提高其耐腐蚀性。以下章节会讲述一些材料在使用前需要进行热处理的案例。

钢

制造紧固件最常用的材料是碳钢和合金钢。钢的分类如下：

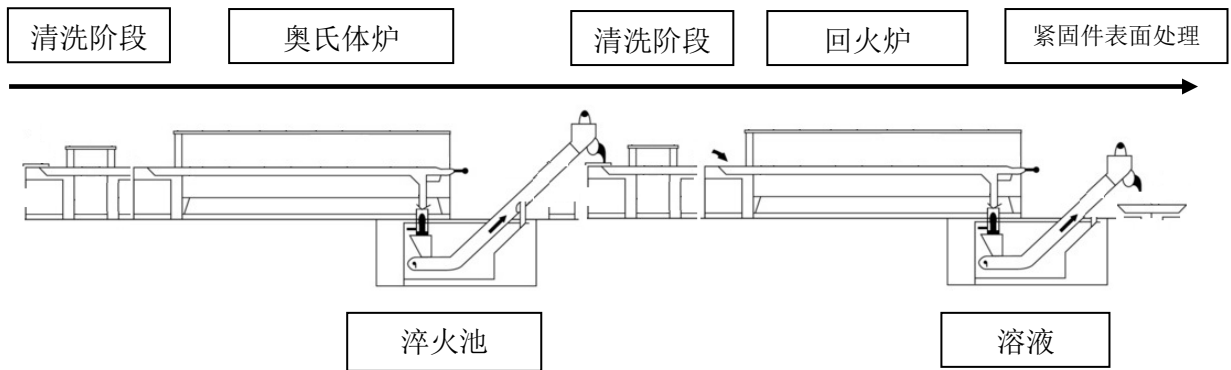


钢的等级

在制作紧固件之前，应对冷镦线材进行后续热处理。这一热处理工艺被称为球化处理。它可以软化钢材，改善冷成形并降低加工工具成本。一旦紧固件成形后，所使用的钢材由于机械变形的原因，其强度将会有小幅提升，然而并不能满足高强度性能和等级（强度等级 8 级 / 10.9 级 / 12.9 级）所规定的技术参数。

成形后的紧固件将会经过两个热处理工艺步骤：

奥氏体化和回火



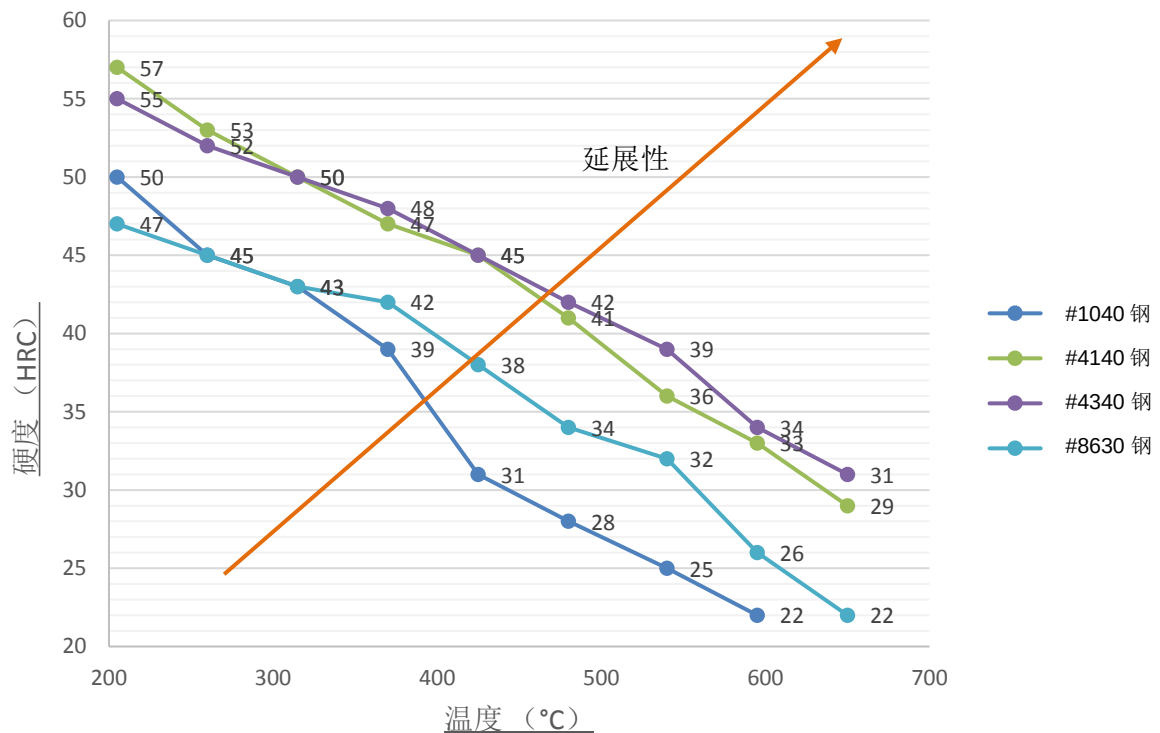
奥氏体化和回火工艺

这是工业上最常用的热处理工艺。奥氏体化过程通常包括将紧固件升温至 **815-870°C**，在这个温度下保温一段时间，再经过淬火产生更硬/更高强度的微观结构，被称之为马氏体。最常见以油或水作为淬火剂介质。形成马氏体的微观构造可以带来以下影响：

- 提高强度
- 减少残余应力
- 降低延展性
- 降低韧性

接下来就是进行后续回火热处理。回火会稍微降低紧固件的硬度，去除残余应力,有助于提高延展性以及韧性，并可以提高尺寸的稳定性。通过调整回火温度和持续时间，可以获得所需的硬度。图 1 显示了 4 种不同钢材在回火温度的影响下实现其硬度的几个例子。所需的最终硬度可通过回火温度和持续时间来控制。

回火温度在2小时后对各种钢材的影响



回火温度的影响 (参考: ASM Handbook: Volume 4 – 热处理)

不锈钢

不锈钢的分类定义是至少含 10.5% 铬的铁基合金。它们可以分为以下 5 种类型:

类别	基本化学成分	一般性能
奥氏体	至少含 16% 铬以及 6% 镍	耐高温, 抗腐蚀
铁素体	铬含量在 10.5-18% 之间 / 含少量碳元素	一般性抗腐蚀
马氏体	铬含量在 10.5- 30% 之间 / 含大量碳元素	高强度, 一般性抗腐蚀
双相不锈钢	铬含量在 19- 32% 之间 / 钼和镍的含量非常重要	高强度, 抗腐蚀性高于奥氏体等级
沉淀硬化不锈钢	铬含量在 11.75- 17% 之间 / 镍和 / 或铝含量非常重要	高强度, 抗腐蚀性能好

奥氏体不锈钢等级，如 304（18-8，A2）和 316（A4）不能通过热处理进行硬化。这种类型的不锈钢只能在制造过程，如冷作成形和螺纹滚牙时，进行硬化。这个硬化过程被称为冷作成形。然而，在一些情况下，热处理可以帮助从其他制造过程中恢复防腐能力和去除应力，如焊接等。冷作成形也会增加磁导率-物料需要低磁导率时，可以进行热处理去除冷作成形的影响。

铁素体不锈钢 如 430 不锈钢，只能通过冷作成形稍微实现硬化。热处理不会增加这类不锈钢的强度。然而，在制造过程中的冷作成形工艺会降低其延展性，因此需要完成退火热处理以恢复其延展性。

马氏体不锈钢 如 410，431，440A/B/C/F，其热处理方式与碳钢和合金钢相同。淬火工艺以油或空气为介质。

双相不锈钢 如 SAF2205®（UNS S31803）使用在高强度（屈服强度是典型的奥氏体不锈钢的两倍）和需要针对氯离子应力腐蚀开裂要求的高耐蚀性应用环境中。这个等级是由两种微观结构相结合形成的：铁素体和奥氏体。热处理方式为退火。

沉淀硬化不锈钢等级包括 3 种类型：低碳马氏体，半奥氏体和奥氏体。每种类型都具有其独特的热处理方式以实现所需的力学性能和防腐能力。沉淀硬化是一种热处理步骤，可以提高材料的强度。这种类型的热处理工艺也可以用在其它合金上，如铝、钛等。

铝

铝合金可以归为不可热处理型和可热处理型两类。不可热处理型为 1XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX 系列铝。大多数系列铝凭借在冷锻和螺纹成形过程中加工硬化来提高强度。随着应变率的增加, 强度也会提高。

可热处理铝, 2XXX, 6XXX 和 7XXX 系列需要固溶解热处理和淬火后, 进行时效处理 (老化), 从而获得所需的机械性能。固溶解热处理可使合金原子介于铝原子之间而不会产生化合物。以下为最常见类型的合金和热处理方式:

合金和回火	热处理 1	热处理后的硬度 (HRB)2	拉伸强度 (MPa) / 屈服强度 (MPa) / 最小延伸率 (%) - 机械试样
2024-T4	固溶解热处理温度 495°C, 自然降温 (室温)	70-85	427 / 275 / 10
6061-T6	固溶解热处理温度 530°C, 人工降温至 160°C	40-50	290 / 241 / 10
7075-T73	固溶解处理温度 490°C 后特殊人工处理降温 (分两步: 107°C+177°C)	80-90	469 / 386 / 10

钛

钛合金用来防腐, 其强度和轻量化十分重要。同等强度的钛合金可以比钢的重量轻 40%。这些特性使其在航空航天和赛车行业具有举足轻重的地位。5 级是紧固件制造中常用的钛合金。以下的表格详细的说明了 5 级钛合金的热处理和机械性能:

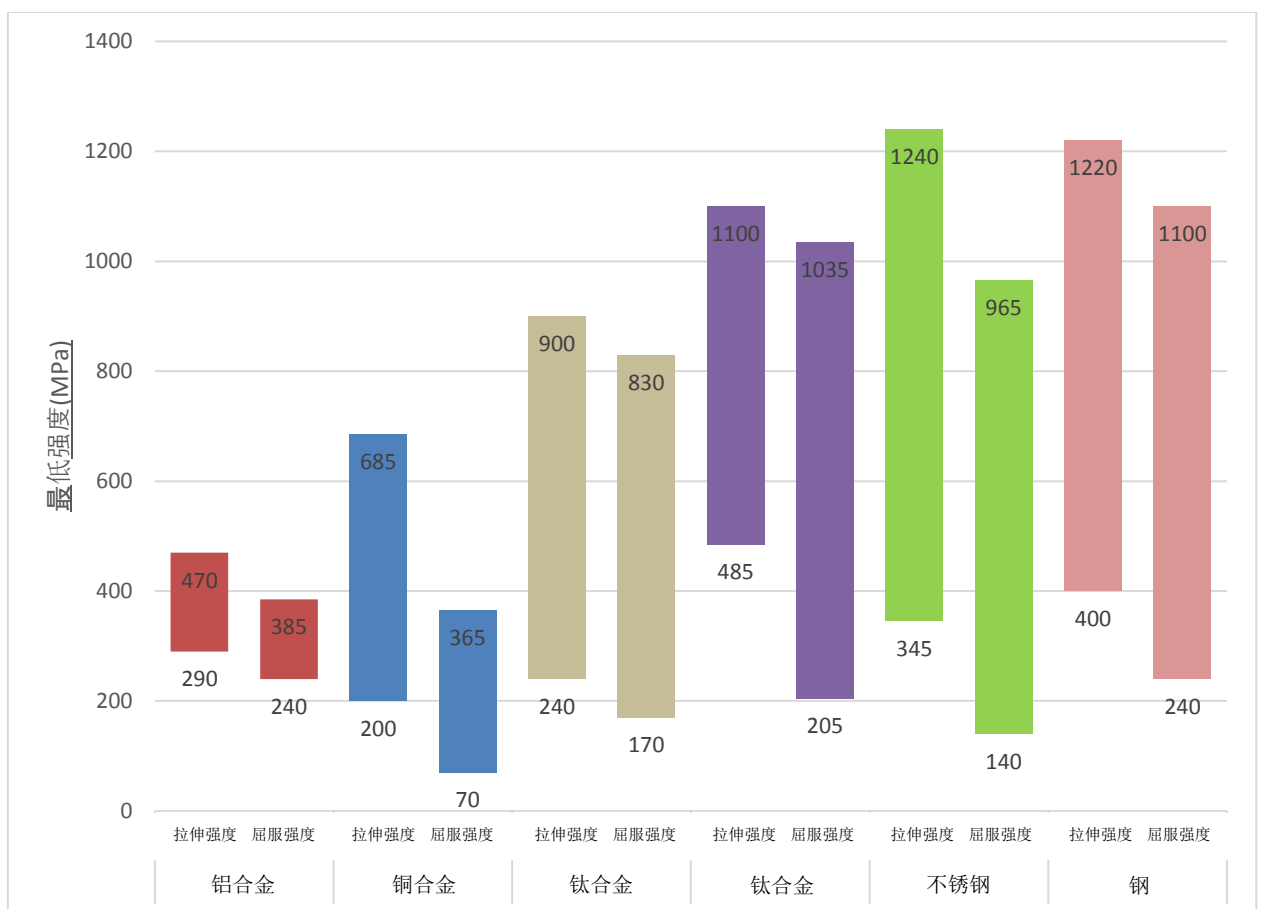
合金	热处理 3	热处理后的硬度 4	拉伸强度(MPa) / 屈服强度(MPa) / 最小延伸率 (%) – 机械试样
5 级 (Ti-6AL-4V)	固溶解热处理温度 955-970°C , 持续 1 个小时, 水淬, 480-595°C 温度保持 4-8 小时, 或 705-760°C 温度保持 2-4 小时。	30-39 HRC	896 / 827 / 10

镍合金

镍基合金适用于耐高腐蚀和高温的需求。应用在如飞机和陆上燃气涡轮发动机，低温储物罐⁵上。 以下为铬镍铁合金 718 应用在紧固件制造中的例子。这种材料可以应用在-250 到 700°C 的温度范围内。

合金	热处理	最低硬度	拉伸 强度(MPa) / 屈服强度 (MPa) / 最小延伸率 (%) - 机械试样
铬镍铁合金® 718 (AMS 5662)	固溶解热处理温度为 980°C，持续 1 个小时。常温冷却降至 720°C，保持 8 个小时；炉温冷却至 620°C，在炉内保持直至整个硬化过程结束，相当于 18 个小时；常温冷却。	331 HBW	1275 / 1034 / 12

以下图表显示的是各种合金的最低强度范围：



合金的最低强度范围

不同的合金需要不同的热处理以实现所需的性能。在紧固件的制造中可以使用一些合金原有的特性。然而，在应用到高强度性能条件时，就需要进行适当的热处理。欲了解更多关于紧固件热处理的信息，不要迟疑，请与 **Bossard** 联系。

参考文献:

1. ASM Handbook – Volume 4
2. ASTM F468
3. ASTM F593
4. ISO 898-1
5. www.specialmetals.com