

# 与扣件氢脆化相关的个案研究 - 第2部分

文 / Daniel H. Herring

绝大部分的扣件，在制造过程中都需要进行某种类型的热处理，而且有许多都要经历多次的加热及/或冷却过程。这些处理的主要目的，就是要让扣件达到某种规定的硬度与强度等级。涂装（即涂层的固化）也可归类为热处理的一种。

在处理过程中有许多事情会出错，导致产生大量与品质有关的问题，其中最大的隐患之一就是延迟失败，这种失败通常是因为氢脆裂造成的（即氢脆化）。本文将讨论更多透过选择适当的设备来减轻这些问题的方法。

## 扣件热处理

以下是扣件业常用的热处理方法。必须注意的是，钢与合金扣件的热处理跟铝扣件的热处理是不同的。而且加热温度、时间以及淬火过程都是随著材料与要求的材料特性而不同。

## 退火(钢)

钢的次临界点退火（即去应力退火）是在原料上施行以降低应力。此过程在低於材料的低临界温度（Ac1）下执行，通常是540 - 650° C（1000 - 1200° F）。

## 正常化(钢)

正常化也是通常会在原料（例如线、棒、条）上进行的一个制程步骤，在钢的上临界温度（Ac3 或 Ac<sub>m</sub>）上进行，大约是19 - 38° C（50 - 100° F）。

## 回火(钢)

回火是释放在硬化过程中积聚的内应力所需的最终步骤。回火会将钢的结构转换成回火麻田散铁，不但硬而且具有延展性。虽然会失去一些硬度，但是可释放掉内部残余应力，并且提高其韧性达到显著增益的属性。此处理过程也会增加的钢的耐震性并降低抗拉强度至更适合的程度。

## 氢脆化释放(钢)

扣件氢脆化是电化学表面处理的结果，氢以原子的形式进入钢的晶格导致其结构产生微裂，进而造成机械失效。将材料在177 - 221° C（350 - 430° F）的温度下加热8至24个小时，就可以预防这种情况的发生。

## 溶解热处理(铝)

溶解处理是将铝加热到427 - 538° C（800 - 1000° F），使合金成分开始溶解（即接近它们的熔点），在保留晶粒组织但留下材料柔软性的快速淬火之前，需要接著进行老化作业。加热温度与时间取决於铝所含的合金以及原料的横截面厚度。

从炉中提炼原料并淬火（淬火延迟）所需的时间，必须保持在规定的时限内，通常是5至15秒，而且其时间会因所处理的合金而有变化。较薄的冷作铝合金的淬火时间要比铸造合金还短。最常用的淬火介质是热水或是环境水，然而在某些情况下会使用乙二醇跟空气。

图 1  
连续网式输送带  
烤箱，可快速固  
化扣件上的涂料  
(图取自 Wisconsin  
Oven Corporation)



## 时效硬化(铝)

在溶解处理与淬火之後，铝就会在室温（自然老化）或是高温（人工老化）下时效硬化，这程序也被称为析出热处理。老化过程会增加材料的强度与硬度。人工老化需要的温度是115 - 200° C（240 - 392° F）而加热时间为5至48小时。老化的时间-温度参数，是根据所用的合金以及要求的机械性质来仔细选择的。

有些合金的自然老化可以加以抑制或延迟，直到可执行控制的人工时效，通常这样做是为了维持生产流程以及要求的批量大小。传统作法可以使用冷冻，例如2014-T4合金铆钉冷冻在 -18° C（0° F）的温度下数天。

## 涂层固化

在钢或铝扣件经过热处理後，通常会涂上一层水性或溶剂型涂料。为了提供一致性的涂装并维持要求的生产率，涂装後的扣件通常要在193 - 204° C（200 - 400° F）的温度下固化15至45分钟。

## 个案研究 - 个案研究 #5

电热式网式输送带烤箱（图1）常用於快速乾燥钛与不锈钢扣件上的涂漆。此设计特性包括一条不锈钢丝网带来承载放在托盘上的零件，并以每小时1,300个零件的速率来处理扣件，一天运转两班，每年总共可生产超过五百万个扣件。此烤箱的覆盖区是小的，所以让地板空间最佳化。

下图的输送带烤箱的最大温度定额是204° C（400° F），熔炼室的尺寸为宽1372 mm x 长2210 mm x 高152 mm（4.5 ft. x 7.25 ft. x 0.5 ft.）。再循环系统使用每小时10,200立方公尺（每分钟6,000立方尺）的直驱送风机与由上而下气流，以72kW的加热系统将产品的加热速率及温度均匀性最大化。其输送带配有一个变速驱动器，可以改变加热时间。使用选配的以太网路通讯的数位无纸记录器，是用来将烤箱操作温度进行纪录与归档的有用功能。

## 个案研究 #6

一家直升机制造商需要处理钢扣件以释放氢脆化。由於需要长时间的烘烤而且可用的地板空间有限，所以用了三台电热式5送风机烤箱（图2）。每一台烤箱的每个抽屉的容量是91公斤（200磅），每个烤箱的总容量是454公斤（1,000磅）。温度操作范围177 - 260° C（350 - 500° F），烤箱使用闭回路温度控制以提供严格的温度公差。整个加热室的温度都维持±5.5° C的温度均匀性。空气是由位在两侧的通风管送出，再垂直吹送并回到上面的加热/再循环系统前，水平排至每个抽屉。



图 2  
用于航太扣件氢脆化释放的五送风机烤箱  
(图取自 Wisconsin Oven Corporation)



图 3a  
用于扣件脆化释放的电热式批量烤箱  
(图取自 Wisconsin Oven Corporation)



图 3b  
配有钢底板的脆化释放烤箱  
(Courtesy of Wisconsin Oven Corporation)

### 个案研究 #7

一个扣件工场制造商想要使用新的电镀化学以提高零件的耐腐蚀性并使其更加美观。但是，新的电镀会造成扣件氢脆化。要解决此问题就是要将零件置于脆化释放烤箱(图3a)烘烤。由于扣件的多样性，所以要在不同尺寸与容量的篮子中进行处理。考量到脆化释放需要长时间加热(以24小时的顺序)，所以就要在烤箱里面密集摆放以使生产量最大化。烤箱配有一个耐重钢底板(图3b)，每一个循环可承受1815公斤(4,000磅)的堆高机负载。

该系统的热输入为72 kW，可在90分钟将装载量加热到191° C (375° F)。每小时 7,650立方公尺(每分钟4,500立方尺)的再循环系统，在将热气回送到顶部的加热系统前，将热空气从位在装载量两侧的供气导管吹出。烤箱达到 191° C (375° F) ± 5.5° C (±10° F) 的温度均匀性。烤箱的侧铰链门提供进出烤箱的全宽入口，而且使用复合式的把手将热传导降到最小，并将操作者的舒适性最大化。

### 个案研究 #8

一个高产的扣件制造商需要一台连续式的氢脆化释放烤箱(图 4)，以处理眼镜及其他应用所需的微型螺丝。为了应付每小时1815公斤(4,000磅)的生产量，所以用了双输送带配置。它利用了架在传统板式网带上的复合编织网带。上方的输送带编织紧密，以输送小型螺丝使其不被网孔卡住。下方的输送带，就是做为输送器由输送

机驱动器驱动。下方的输送带架在低摩擦滚子床上，可以承受每立方公尺366公斤(每立方尺75磅)的负载，不会过载或是过度磨损。长18.3公尺(60尺)的烤箱，有三个加热区域可提供1小时的加热以及 7 小时的持温时间。高量的循环气流将空气同时传送到输送带的上方与下方，以提供204° C (400° F) ± 5.5° C (± 10° F)的温度均匀性。

### 个案研究 #9

一家主要的飞机制造商需要高容量的溶解处理系统来处理铝铆钉。该过程需要将装於直径254mm x 高152mm(直径10” x 高6”)篮子内，重450公斤(1,000磅)的铆钉加热至455° C (850° F)，然後在10秒内用水淬火。

此应用使用了一台批量式电热溶解处理炉(图5)。装了铆钉的篮子被置於预热的炉子里面，在预先决定的持温时间後，手动将铆钉从炉子转移到淬火升降机，并快速下沉到淬火槽里。

淬火是在未加热的水中完成。因为水温在每次淬火後会增加14° C (25° F)，所以配有冷却器以便将在下次淬火前降低水温，这样就可以增加处理的频率并提高生产量。

该炉的额定最高操作温度是650° C (1,200° F) ，并且可达到AMS 2750(二级火炉和C型仪表)规定的427° C 与 593° C (800° F 与 1,100° F) ± 5.5° C (± 10° F)的温度均匀性。其加热系统采用英高合金包覆加热元件，额定的热输入为36kW，采SSR动力控制。其再循环系统采用2.25kW(3 HP)马达供电的风扇，每小时可达4,760立方公尺(每分钟2,800立方尺)。

### 总结

在此所提供的这些例子，强调控制制程与设备相关变异性的的重要性。不只是一要将产量最大化并制造出想要求的扣件特性，而且也要避免与负载、加热或冷却有关的问题，并确保可正确的执行氢脆化释放这类的制程。请记住，并非所有的烤箱性能都相同，所以一定要将你的制程与期望清楚地与供应商夥伴沟通。如果你要操作现有的烤箱，务必要彻底了解其能力与限制。

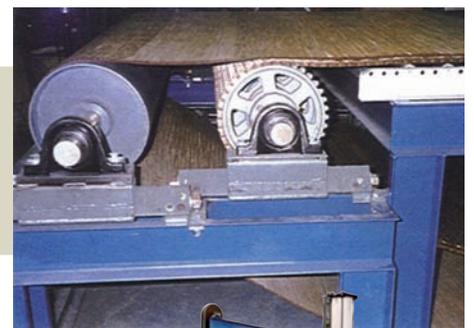


图 4  
使用双输送带处理微型扣件的脆化释放烤箱  
(图取自 Wisconsin Oven Corp)



图 5  
用于铝铆钉的溶解处理炉以及具冷却系统的淬火槽  
(图取自 Wisconsin Oven Corporation)