

金属材料学

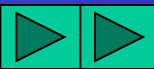
Metal Material and Heat Treatment

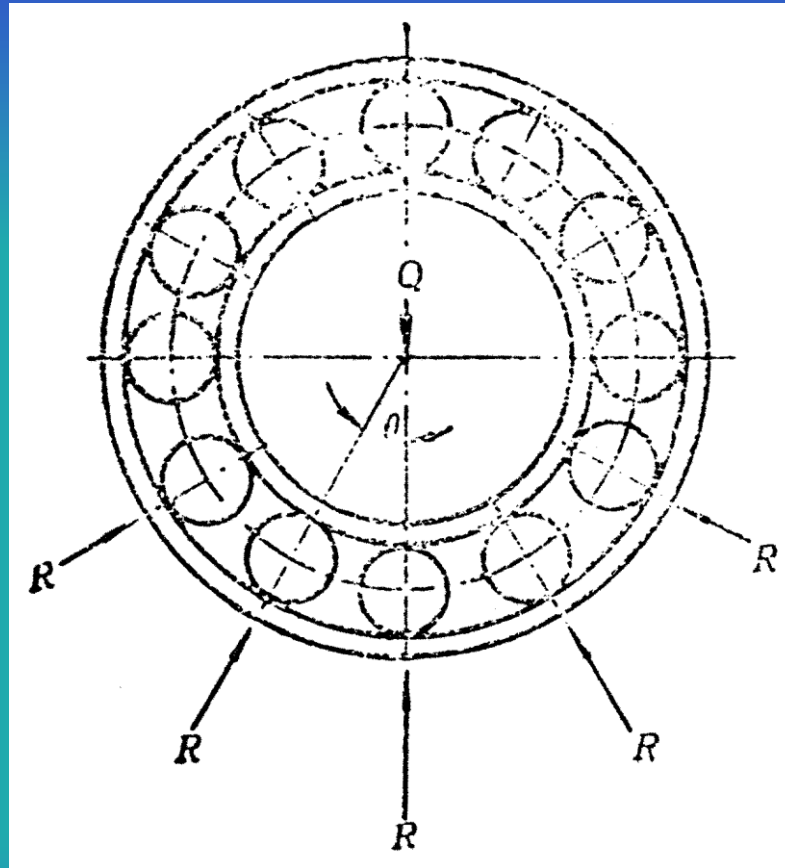
主讲教师：曾燕屏

§ 4-3 轴承钢

一、工作条件对轴承钢性能的要求

- 滚动轴承是由内、外套圈，滚动体(滚珠、滚柱和滚针)和保持器四部分组成；
- 除保持器外，其余都是用轴承钢制成。
- 滚动体和套圈滚道之间的接触应力可高达 5000MN/m^2 ；
- 循环应力次数每分钟可达数万次。





$$R=Q\cos\theta$$

图4-8 滚动轴承载荷分布示意图



- 对轴承钢的性能有下列要求：

- (1) 高的弹性极限和高的接触疲劳强度；
- (2) 高而均匀的硬度(HRC61-65)和高的耐磨性；
- (3) 适当的韧性；
- (4) 良好的尺寸稳定性；
- (5) 一定的耐蚀性；
- (6) 良好的工艺性能。

- 轴承钢在使用状态下的组织应是在回火马氏体基体上均匀分布细颗粒的碳化物。

二、轴承钢的合金化

除了一些特殊要求(高温、耐酸、低温)的轴承钢外，通常所用的轴承钢大致有以下三类：

- (1) 高碳低铬(约1~1.5%)轴承钢；
- (2) 高碳Si-Mn(大约各含1%)轴承钢；
- (3) 特大型(尺寸大于450mm者)轴承用的低碳高合金渗碳轴承钢。

高碳低铬轴承钢的化学成分有以下特点：

(1) 高碳：

- ✓ 当钢中含碳量超过0.6~0.7%时，淬火后的硬度才能达到最高值；
- ✓ 同时为了获得一定数量的耐磨碳化物，轴承钢中的碳含量一般控制在0.95~1.05%。

(2) 以铬作为基本的合金元素：

- ✓ 铬可以提高钢的淬透性，使钢淬火后获得高而均匀的硬度和均匀的组织；

- ✓ 铬溶于渗碳体中形成比较稳定的合金渗碳体 $(\text{Fe、Cr})_3\text{C}$ ，淬火加热时溶解较慢，以细小颗粒均匀分布在基体上，可提高基体的耐磨性；
- ✓ 铬还可以增加钢的耐蚀性。
- ✓ 但是，钢中含铬量过高，会使淬火钢中残余奥氏体量增加；
- ✓ 会增大液析程度，增高碳化物不均匀性。
- ✓ 因此，轴承钢中的铬含量应控制在1.65%以下。

(3) 添加钼、锰、硅和钒等元素，进一步提高钢的淬透性，用以制造大型轴承。

(4) 严格控制杂质元素(硫、磷)和残余元素(镍、铜)的含量。因为：

- ✓ 磷促使晶粒长大，增加钢的脆性；
- ✓ 硫增加钢中的非金属夹杂物；
- ✓ 镍降低钢的淬火硬度；
- ✓ 铜引起时效硬化。

在高碳低铬轴承钢中，典型的钢种是GCr15，它的使用量约占铬轴承钢的90%。

三、轴承钢中的非金属夹杂物

1. 非金属夹杂物的分类

按照**化学成分**的不同，轴承钢中的非金属夹杂物可分为：

- (1) **氧化物**，如 FeO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、尖晶石 $\text{Mn}(\text{Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 和钙的铝酸盐 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 等；
- (2) **氮化物**，如 AlN 、 TiN 、 VN 等；
- (3) **硅酸盐和硅酸盐玻璃**；
- (4) **硫化物**，如 MnS 、 CaS 等。

按照**热变形能力**的不同，轴承钢中的非金属夹杂物又可分为：

(1) **脆性**夹杂物

- ✓ 如不具有塑性的氧化物(刚玉、尖晶石等)和氮化物。
- ✓ 这类夹杂物在热变形后，一般沿轧制方向排列成串或呈点链状分布；

(2) 点状(或球状)不变形夹杂物

- ✓ 主要是含钙镁的铝酸盐。
- ✓ 它们在热加工时没有塑性，保持球形不变，只有压下量很大时才被破碎，呈点链状分布。

(3) 塑性夹杂物

- ✓ 包括硫化物和铁锰硅酸盐等。
- ✓ 在热变形温度下具有良好的塑性，在热变形钢中沿轧制方向呈连续的条带状分布。

2. 非金属夹杂物对轴承钢疲劳寿命的影响

夹杂物对钢疲劳寿命的影响，与夹杂物的类型、数量、尺寸、形态和分布有关。

(1) 夹杂物的类型

- 对疲劳寿命危害最大的是点状夹杂和刚玉；
- 其次是氮化物；
- 塑性硅酸盐危害较小；
- 硫化物无有害影响。

(2) 夹杂物的数量和尺寸

- 疲劳寿命随夹杂物数量的增多和尺寸的增大而降低；
- 试样尺寸越小，夹杂物尺寸的影响就越大。
- 一般认为，只有尺寸在 $6\sim 8\mu\text{m}$ 以下的夹杂物才对疲劳寿命影响不大。



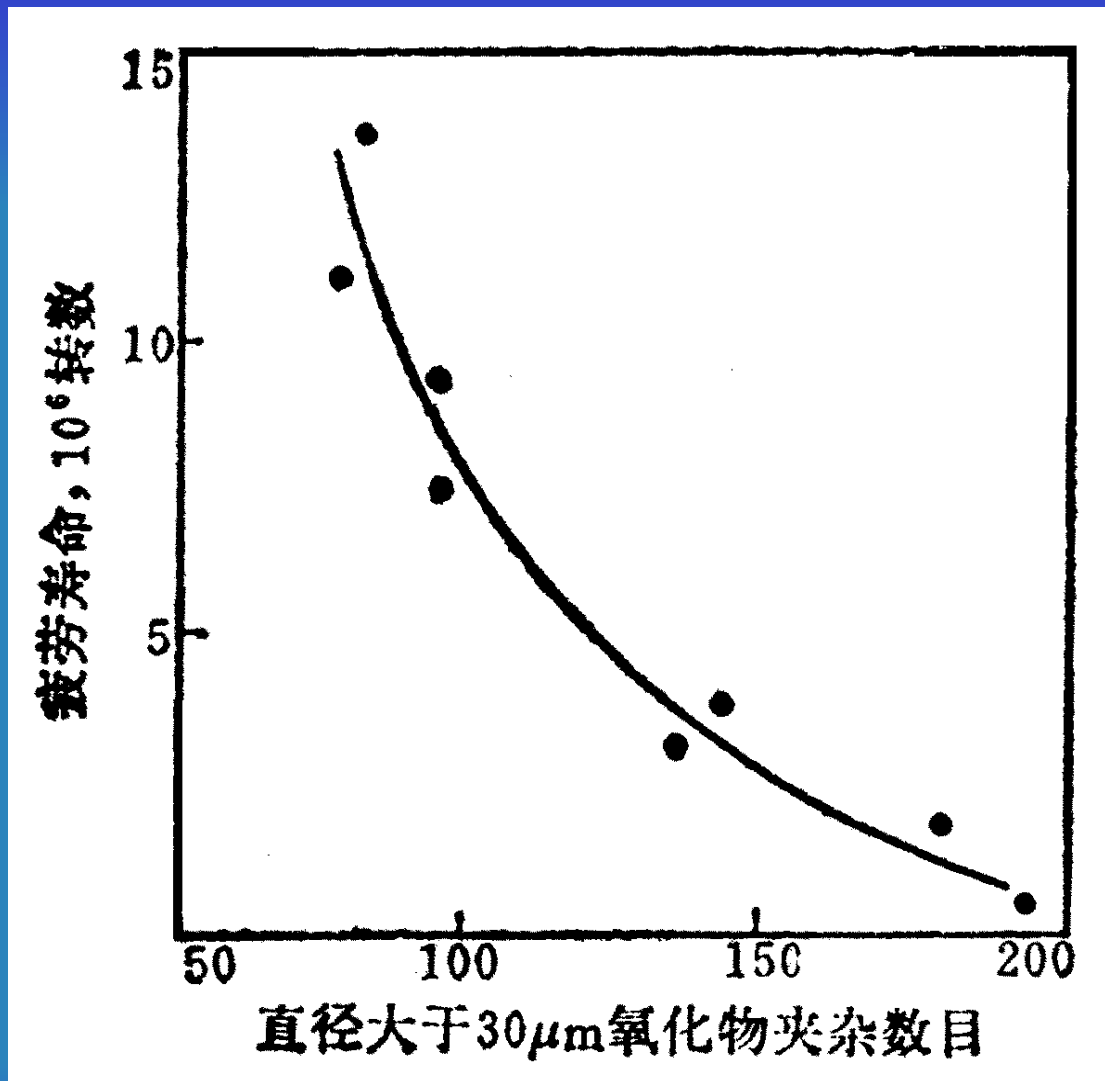


图4-9 氧化物夹杂的数目与疲劳寿命的关系

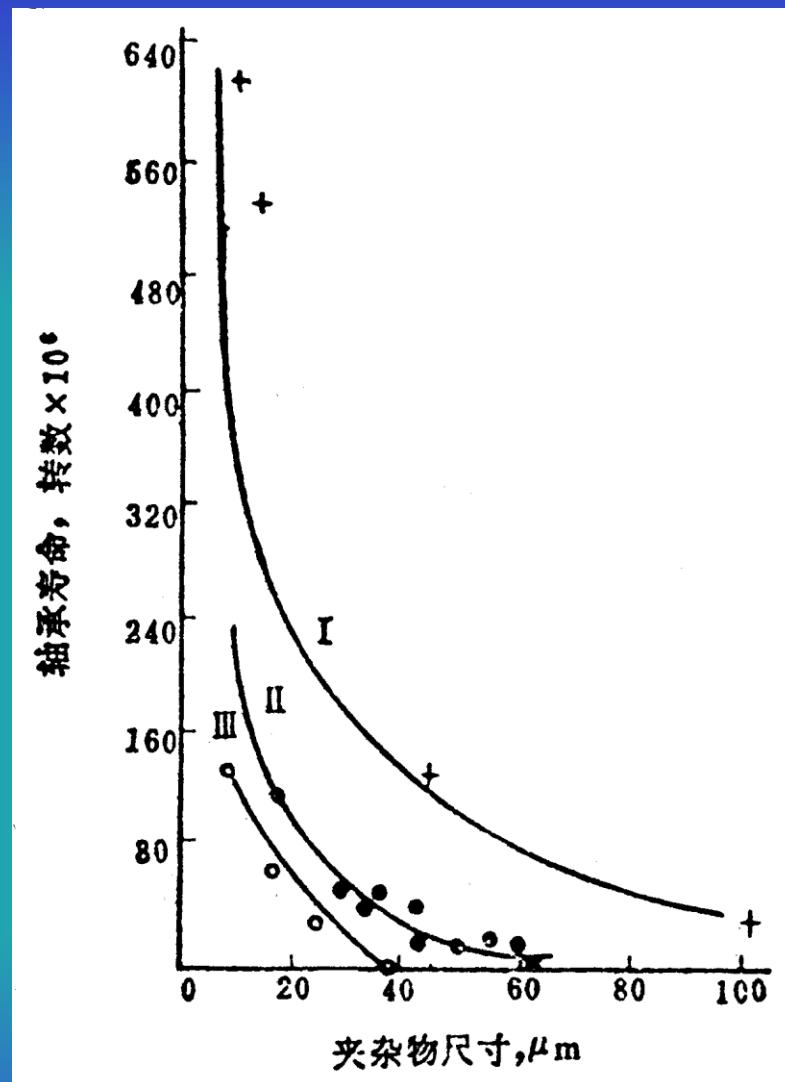


图4-10 点状夹杂物尺寸对疲劳寿命的影响



(3) 夹杂物的形态

- 夹杂物的形态是多种多样的，有圆的、方的、条状、角状和链状等；
- 一般认为**细条状塑性**夹杂物对疲劳寿命的危害较小，**尖棱状硬脆**夹杂物对疲劳寿命的危害较大。

(4) 夹杂物的分布

- 疲劳裂纹源通常出现在最大切应力处(离表面 $0.786b$ ， b 为滚动体与套圈接触带宽度)；
- 夹杂物离开这个位置越远，对疲劳寿命的危害就越小。

减小夹杂物对疲劳寿命的危害的措施：

- (1) 减少钢中夹杂物的数量；
- (2) 控制夹杂物的类型、大小、形态和分布。
- (3) 理想的情况是夹杂物数量少、尺寸小、塑性好、并呈细条状均匀分布。

3. 非金属夹杂物的来源与消除

依其来源夹杂物可分为内生和外来两类。

(1) 内生非金属夹杂物

- 脱氧反应的产物；
- 钢液在凝固过程中，由于温度降低，氧和硫在钢中的溶解度下降，以氧化物和硫化物形式析出。
- 在熔炼至浇注的过程中，钢液吸收大气中的氮和氧形成的夹杂物。

(2) 外来非金属夹杂物

- 原料带入的夹杂；
- 从炉衬、钢包、出钢槽和汤道侵蚀下来的耐火材料；
- 渣洗和钢渣混出造成的混渣等。

减少钢中非金属夹杂物的措施：

- 降低钢中氧和硫的含量，这就要求冶炼时进行充分的脱氧和脱硫。
- 控制好出钢和浇注温度，掌握好镇静时间。
- 精选原料，在炉体良好的情况下进行冶炼，并保持钢包、出钢槽、汤道等的清洁。

四、轴承钢中的碳化物

碳化物在轴承钢中的作用：

- 细小均匀分布在基体上的碳化物，有利于提高钢的耐磨性；
- 加热时有阻止奥氏体晶粒长大的作用。

- 碳化物硬而脆，降低钢的塑性和韧性；
- 在碳化物和马氏体界面易引起应力集中，促使裂纹沿界面扩展；
- 粗大碳化物本身也易开裂；
- 因此，钢的疲劳寿命随着碳化物数量的增多而降低。
- 减小碳化物尺寸，使其圆正，大小与分布均匀，可减少其有害影响，发挥其有利作用。

轴承钢中可能出现的碳化物的形态：

(1) 网状碳化物

- ✓ 显著增加零件的脆性和淬火开裂倾向，使零件易沿晶界破坏。
- ✓ 轴承钢中网状碳化物必须控制在 ≤ 3 级。

(2) 带状碳化物

- ✓ 直接降低轴承的疲劳寿命；
- ✓ 增加淬火变形与开裂的倾向；
- ✓ 降低加工表面光洁度。

(3) 液析碳化物

- ✓ 液析碳化物尺寸大，硬度高，脆性大，暴露在工作表面容易剥落，加速轴承的磨损；
- ✓ 液析碳化物增大零件淬火开裂的倾向，造成淬火硬度不均匀和机械性能各向异性；
- ✓ 因此对液析碳化物要严格控制。

液析碳化物与带状碳化物的异同点：

- 液析和带状碳化物都是枝晶偏析造成的；
- 当偏析程度小时，只出现带状碳化物；偏析严重以致钢液成分达到共晶成分时，会同时出现液析碳化物与带状碳化物。
- 液析碳化物是从液体中形成的共晶碳化物；带状碳化物则是从奥氏体中析出的二次碳化物。

五、轴承钢的热处理

轴承钢的热处理包括：

- 预先热处理：正火和球化退火
- 最终热处理：淬火、回火和稳定化处理。

1. 轴承钢的球化退火

- 球化退火的目的是为了获得细粒状珠光体组织，为淬火作组织准备。
- 球化退火前原始组织应为细片状珠光体或网状碳化物不明显的片状珠光体。
- 如果网状碳化物超过三级，则应消除网状碳化物后再进行球化退火。
- 轴承钢常用的球化退火工艺有普通和等温球化退火两种。

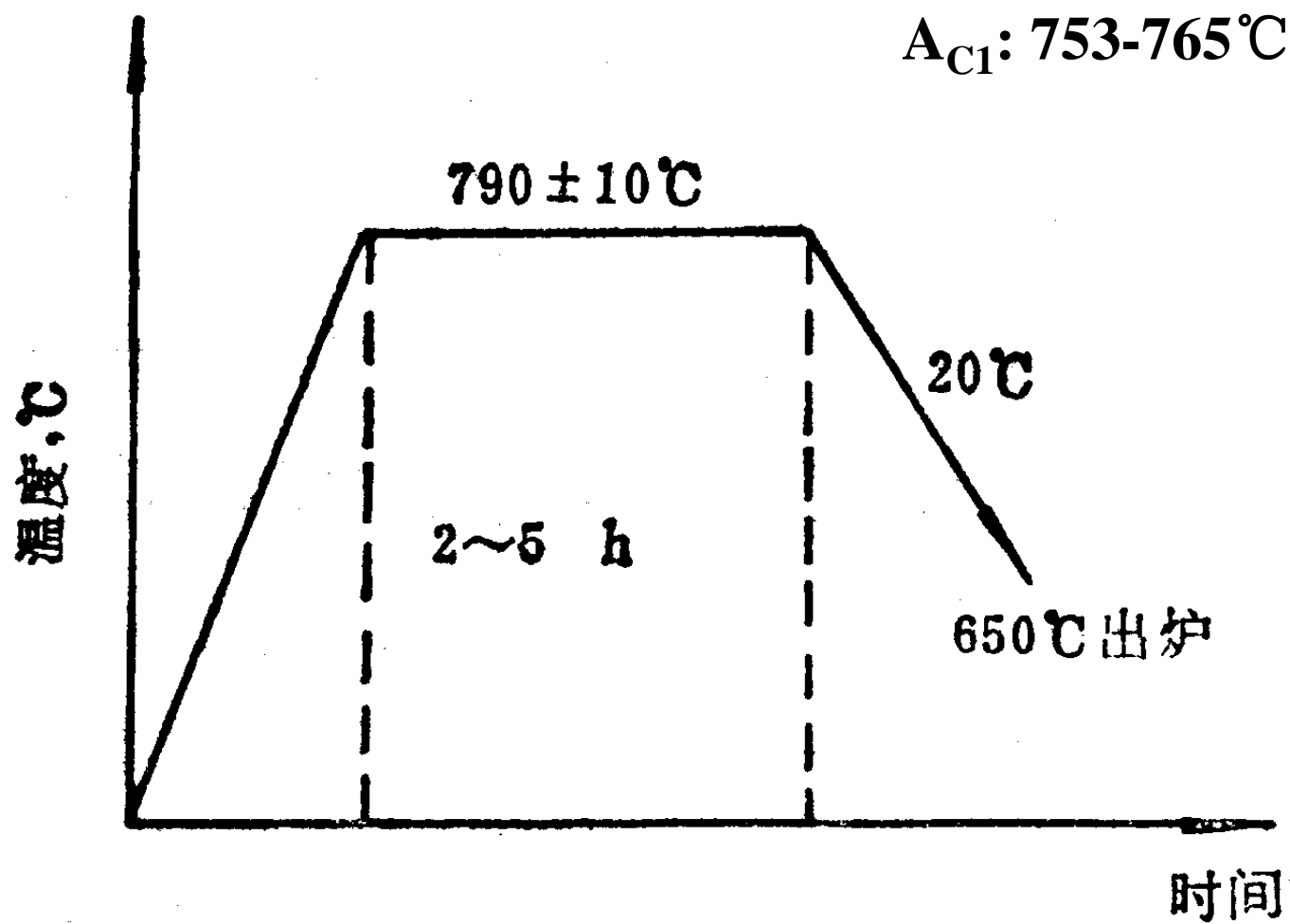


图4-11 GCr15钢普通球化退火工艺

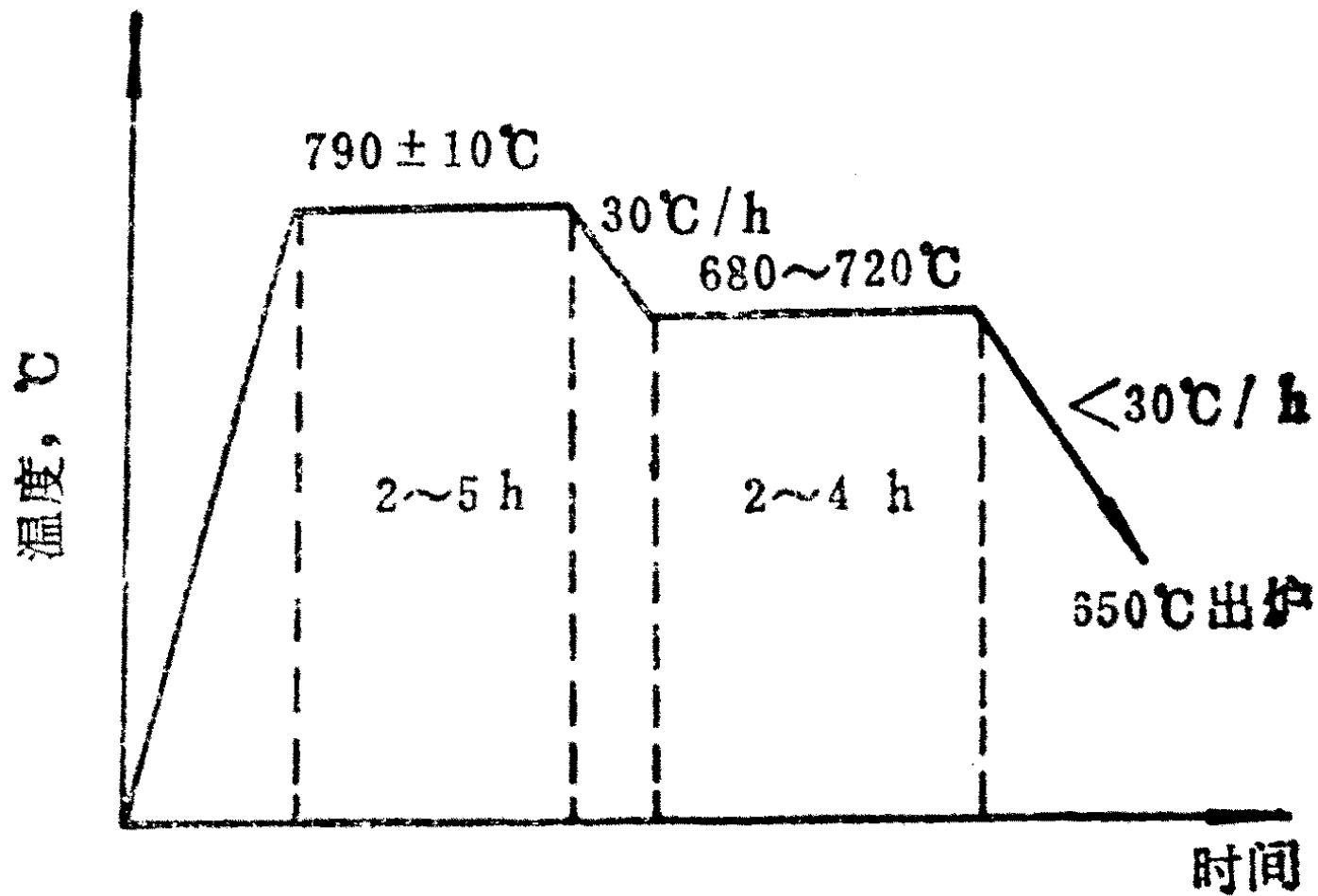


图4-12 GCr15钢等温球化退火工艺

2. 轴承钢的正火

- 正火的目的是：消除网状碳化物，返修退火不合格品及满足某些轴承的特殊要求。
- 正火加热温度根据具体要求选择：
 - ✓ 消除**粗大**网状碳化物须采用较高的加热温度(930~950℃)；
 - ✓ 消除**细**网状碳化物或返修产品宜选用较低的加热温度(850~870℃)。

- 正火的冷速应足够快($\geq 50^{\circ}\text{C}/\text{min}$), 以防网状碳化物再次析出。
- 经正火的钢材再经球化退火之后, 往往会出现不均匀的粒状珠光体, 即在细粒状珠光体中出现大颗粒的碳化物。
- 如无必要, 应尽量不要采用正火处理。

3. 轴承钢的淬火

- 对于GCr15钢，淬火温度一般选用840℃；
- 淬火加热可获得细小的奥氏体晶粒；
- 快冷之后可得到隐晶马氏体基体上分布着细小均匀的颗粒状碳化物(7~9%)与少量残余奥氏体(<10%)的组织；

- 在性能上可得到最高的硬度(HRC64~66)、弯曲疲劳强度和冲击韧性。
- 为防止氧化脱碳，轴承零件一般采用保护气氛加热或真空淬火。
- 一般轴承零件用油淬，尺寸大于12mm的钢球用苏打水冷却，薄壁套圈采用分级淬火(120~180℃停留2~5min)。

4. 轴承钢淬火后的回火

- 根据GCr15钢回火时性能的变化，最合适的回火温度为 160°C ，回火时间为3小时以上。
- 轴承在磨削加工后还要进行消除磨削应力回火，一般在 $120-150^{\circ}\text{C}$ 保温3-5小时。