

- 1、脱溶：从过饱和固溶体中析出第二相或形成溶质原子聚集区以及亚稳定过渡相的过程称为脱溶，是一种扩散型相变。
- 2、时效：合金在脱溶过程中，其机械性能、物理性能和化学性能都随之发生变化称为时效。
- 3、时效强化：固溶处理后冷却至室温得到亚稳定的过饱和固溶体，亚稳定的过饱和固溶体在室温或较高温度保持时发生脱溶，但脱溶往往不是平衡相，往往是亚稳定相或脱溶原子聚集区，这种脱溶能明显提高合金的强度和硬度，称为时效强化或沉淀强化。
- 4、固溶处理：将双相组织加热到固溶温度线以上某一温度保温足够时间，将获得均匀的单相固溶体，快速冷却，得到过饱和固溶体的处理。
- 5、平衡脱溶相：合金经过固溶处理及淬火得到亚稳态过饱和固溶体，若在足够高温下时效，最终将沉淀析出平衡脱溶相，平衡相析出之前根据合金不同出现若干亚稳定脱溶相。

6、平衡相析出前会出现过渡相，脱溶可能停留在任一阶段，影响因素有：合金成分、时效温度、时间。（这也是影响 GP区大小的因素）

GP 区（若干原子层范围内的原子聚集区）特点：过饱和固溶体的分解形成速度快；其晶体结构与母相饱和固溶体相同并保持第一类共格关系；热力学上亚稳定。

7、脱溶相跟母相关系：0 完全共格、0 部分共格、0 无共格关系

8、Cu 合金的固溶过程：固溶处理并淬火冷却得到过饱和相固溶体，在 130 进行时效，先形成 GP区，然后当时效时间延长或时效温度提高时以 GP区为基础沿直径方向和厚度方向长大形成过渡相 0，随时效过程的进展，片状 0 相周围的共格关系部分遭到破坏形成新的过渡相 0，随 0 相的生长周围的应力和应变不断增加，弹性应变能增加，0 相逐渐变得不稳定，0 相长大到一定尺寸将与相脱离成为独立的平衡相 0。

9、强化机制机理：内应变强化，由于析出相的点阵参数和结构与母相不同，析出相周围出现畸变区形成不均匀应力场，整根位错线受到阻力作用，强度硬度增加。位错切过：析出相颗粒强化（尺寸小、分布弥散，强度低）位错绕过机制：位错绕过析出相颗粒所留下的位错圈使下一根位错圈通过困难。

时效硬化机理：时效初期，随时间延长，硬度有进一步提高，曲线形状不同分冷时效和温时效。冷时效指在较低温度下进行的时效，其硬度曲线特点是硬度在一开始持续上升达到一定值之后缓慢上升或基本保持不变。温时效指在较高温度下发生的时效，硬度曲线规律为开始有一个停滞阶段，硬度上升极为缓慢，称为孕育期，一般认为是脱溶相形核准备阶段，接着硬度迅速上升达到一定值后随时间的延长而下降。

时效时硬度变化的原因：固溶体的化合；基体的回复与再结晶；新相的析出，前两个硬度随时间延长而单调下降，后一个是硬度提高。

回归：时效型合金在时效强化后，于平衡相和过渡相的固溶曲线以下某一温度加热，时效强化现象会马上消除，硬度基本恢复到固溶体处理状态的现象。

10、Al-Cu 合金的时效硬化硬化主要依靠 GP区和 θ (2θ) 相的强化效果最大，当出现 θ (1θ) 相似后合金的硬度下降。

10、用时效强化机制解释 GP区、 θ (2θ)、 θ (1θ) 相强度变化：

时效初期形成 GP区与母相保持共格关系，具有内应变强化效应，再加上切过强化效应，使其硬度显著提高，随时间延长 GP区数目增加硬度也不断提高，当 GP区数目达到某一平衡值时硬度不再增加，出现一个平台，随后 θ (2θ) 与母相保持共格关系形成强内应力场，另外位错线也可切过 θ (2θ) 相，使得硬度和强度进一步提高，并随 θ (2θ) 的数目和尺寸的增加而增加，当 θ (2θ) 粗化到位错线能绕过时，随颗粒尺寸增加硬度下降，出现过时效现象，出现的 θ 、 θ' 相是非均匀形核 位错能绕过的尺寸，半共格关系破坏，因此 θ 、 θ' 相出现不久硬度就开始下降， θ 相的析出只能导致硬度下降。

11、回火：将淬火后的钢加热到低于临界点的某一温度，保温一定时间后冷却到室温的热处理工艺。

回火的目的： 获得所需要的组织，改善性能； 消除或减少淬火内应力；
获得工件所需要的力学性能。

12、 淬火钢回火时的组织转变：有亚稳态到稳态

马氏体中碳的偏聚

马氏体分解

残余奥氏体的转变

碳化物的转变

渗碳体的聚集长大和 相回复、再结晶。

13、 回火马氏体：马氏体分解后得到的立方马氏体 + - 碳化物的混合组织。

回火屈氏体：铁素体 +片状渗碳体的混合物。

回火索氏体：等轴铁素体 +尺寸较大的颗粒渗碳体的混合组织

14、 二次硬化：当马氏体中含有足够 C化物形成元素时，在 500 以上回火将析出细小的特殊 C化物，导致因回火温度升高 0- 碳化物粗化而软化的钢再度硬化的现象。

二次淬火：将淬火钢加热到较高温度回火，若残余奥氏体比较稳定，在回火保温时尚未分解，则在回火后的冷却过程中将转变为马氏体，这种在回火过程中残余奥氏体转变为马氏体的现象称为二次淬火。

15、 回火脆性：回火温度升高，冲击韧性下降的现象。

第一类回火脆性：250-800 之间出现的回火脆性，也称低温回火脆性，不可逆回火脆性，奥氏体化时杂质元素 P、S、Sn 在晶界、亚晶界处偏聚导致晶界弱化引起的。

第二类回火脆性：在 450-600 之间出现的回火脆性，又称可逆回火脆性，脆性相析出理论认为碳化物、氧化物、磷化物等脆性相沿晶界析出引起，杂质元素偏聚理论认为 Sb、Sn、P 等杂质元素向原始奥氏体晶界的偏聚是产生第二类回火脆性的主要原因。

16、退火：将工件加热到一定温度，并保温一段时间，然后缓慢冷却得到接近平衡组织的热处理工艺。

目的：降低硬度，改善切削加工性能；消除残余应力，稳定尺寸，减少裂纹与变形倾向；细化晶粒，调整组织，消除组织缺陷；均匀材料的组织和成分，为以后的热处理做准备。

17、合金元素对回火转变的影响：

延缓回火转变，提高回火抗力：影响 C 的扩散而影响马氏体的分解和碳化物的聚集长大，从而影响相中碳浓度的下降速度；改变奥氏体分解的温度和速度，从而影响残余奥氏体的类型和性质；影响转变动力学 C 曲线，影响转变产物及类型。

产生二次硬化：强碳化物形成元素（Mn、W、V）导致碳钢出现二次硬化。

影响回火脆性：Mn、W 能减轻第一类回火脆性，Cr、Si 能调整第一类回火脆性发生的温度范围，Nb、V、Ti、Mn、W 可减轻第二类回火脆性。

回火稳定性（回火抗力）：合金元素阻碍相中碳含量降低和碳化物颗粒长大而使钢保持高硬度、高强度的性质。

18、各种材料对应的退火方式：

19、淬火：将钢加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上一定温度，保温一定时间后，以大于临界冷却速度（淬火速度）的速度冷却得到马氏体（或下贝氏体）的热处理工艺。

亚温淬火：对亚共析钢在 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 两相区淬火。

20、淬火加热温度的选择：

亚共析钢 $A_{c3}+30-50$ ，目的是为了得到细小的奥氏体晶粒和保留少量渗碳体质点，淬火后获得细小的马氏体组织。若温度过高则引起马氏体粗化，过低则淬火后残留有 F 体。

共析钢与过共析钢 $A_{c1}+30-50$ ，目的是使之前的球化组织转变为 M 体和粒状渗碳体，提高钢的耐磨性；如果过共析钢的加热温度超过 A_{cm} ，碳化物将全部溶

入奥氏体中，使奥氏体中的含碳量增大，降低钢的 M_s 和 M_f 点，淬火后残留奥氏体增多，会降低钢的硬度和耐磨性。

21、常用淬火介质；

水：

盐 / 碱水：高温区间冷却能力比水强，低温区间冷速依然很大；

油：低温区间冷速远小于水，缺点是高温区间冷却能力很小，不能用于大尺寸工件的淬火；

熔盐、熔碱及熔融金属：多用于等温淬火和分级淬火。

22、常用的淬火方式：

单液淬火：工件加热后直接置于某一种介质中淬火；

双液淬火：加热好的工件先在水（盐水）中冷却至某一温度，然后迅速转至油中冷却；

分级淬火：将工件置于稍高于 M_s 点的热态淬火介质中保持一段时间，待工件各部分温度一致后，取出空冷或油冷；

等温淬火：将工件置于稍高于（或稍低于） M_s 点的淬火介质中，使其转变为 B 下或 M 体后取出空冷。

23、三类回火：

低温回火：250 以下回火，得到回火马氏体，降低硬度及内应力；

中温回火：350-500 回火，得到高弹性高硬度良好韧性的回火屈氏体；

高温回火：500-680 回火，得到回火索氏体，得到强度、硬度、韧性配合良好的综合力学性能。

24、回火过程中残余奥氏体的转变：

残余奥氏体向 P 和 B 的转变：

将淬火钢加热到 M_s 点以上， A_1 点一下各个温度等温保持，残余奥氏体在高温区将转变为珠光体，在低温区将转变为贝氏体；

残余奥氏体向马氏体的转变：

等温转变为马氏体：

将淬火钢加热到低于 M_s 点某一温度等温保持，残余奥氏体有可能等温转变为马氏体；

二次淬火：

淬火钢在较高温度回火，若残余奥氏体较稳定，在回火保温时未发生分解，则回火后的冷却过程中将转变为马氏体。

25、回火过程中碳化物的析出和转变：(第 10 张照片)

高碳 M 体：

低碳 M 体：回火温度高于 200°C 时，自 M 体中直接析出 θ -碳化物，随回火温度升高， θ -碳化物还将发生破碎、细化。

中碳马氏体： 200°C 以下回火时可能析出亚稳态 ϵ -碳化物，随回火温度升高， ϵ -碳化物直接转变为稳定的 θ -碳化物。

26、淬透性：

淬硬性；

淬透：工件淬火后，心部得到 $1/2$ 马氏体组织即可成为淬透。

27、正火：将钢加热到临界点以上完全奥氏体化，然后在空气中冷却的热处理工艺。

正火组织、性能特点： P 体片间距小， F 晶粒比退火后小；先共析数量少，伪共析 P 数量多；魏氏组织：先共析下贝氏体（或先共析渗碳体）+ P 体

30、热处理的基本工艺参数：加热温度、加热速度、保温时间、冷却速度

热处理缺陷；过热、过烧、氧化、脱碳、变形、开裂

31、淬火新工艺：亚温淬火；细化晶粒，获得初相 F 体，缓解杂质在晶界和晶面富集；晶粒超细化；控制马氏体形态；控制残余奥氏体分布。

33、粉末成型：指金属粉末或非金属粉末（或金属与非金属的混合粉末）的制备、挤压、轧制和烧结等固结方法，制成各种金属或金属-非金属或非金属材料 and 制品的工艺技术。

特点：能控制制品的孔隙度，生产多孔材料；使不能互溶的金属-金属或金属-非金属组成具有特殊性能的材料；能生产各种复合材料；制备高合金粉末冶金材料；可生产难熔材料或制品；粉末冶金法可将金属粉末制成成品或接近成品的最终形状尺寸的制备，因而只需要少量的切削加工，节约成本，提高效率。

局限性：尺寸形状有限、成本高、有空洞。

34、粉末制取的三种方法：化学反应还原法：还原金属氧化物；电解法：以水溶液点解和熔盐点解为主，制得的粉末浓度高，粉末形状多为树枝状，有较好的压制性；雾化法：采用高速的气流或水流击碎液态金属或合金制取粉末。

35、粉末的性能主要指：粉末的粒度、粉末分布、粉末的形状及结构、密度、流动性、压制性或成型性。固态物体按分散程度分为致密体、粉末体和胶体。

粉末的粒度分布；可用不同粒度的颗粒占全部粉末的百分含量来表示粉末的粒度组成，测定方法用筛分法按粒度分成若干等级，用相应的筛孔径代表各级的粉末粒度。

形状与结构：形状直接影响粉末的流动性，松装密度、压制性等，与粉末的生产方法有关。有球形、近球形、多角形、片状、树枝状、不规则形、多孔海绵状、碟状等。粉末结构一般为多晶，晶粒内存在亚结构，同时晶体还存在严重的不完整性。

密度：按照填装方式分为松装密度和摇实密度。

流动性：50g 粉末从标准漏斗流出所需要的时间。

压缩性与成型性：压缩性表示粉末在压制过程中被压紧的能力；成型性表示粉末压制后，压坯保持既定形状的能力。

36、粉末模压成型：将预处理良好的粉末按一定体积或重量装入精密模具，用压力机制成所希望得到的形状和尺寸。

预处理包括：粉末退火、筛分、混合、制粒、加添加剂等。

模压成型工艺：压制成型；塑性成形；浇注成型。

评价粉末加工性能的参数：流动性、压缩性、成型性、密度。

38、烧结：粉末或坯块经高温处理使其内部发生物理化学变化，得到一定的显微结构与性能，达到强化和致密化的热处理工艺。

目的：把颗粒系统制成致密的固体。

39、烧结的基本过程：

初期：黏结阶段，颗粒间的原始接触点或面转变为晶体结合，形成烧结体。

中期：烧结体长大阶段，烧结体扩大，颗粒间缝隙减小

后期：闭孔隙球化和缩小阶段，闭孔数量增加，孔隙形状逐渐球化并不断增加。

40、烧结的驱动力：（第 23 张照片）

41、烧结的基本工艺：

单元系烧结：纯金属或化合物在其熔点以下烧结，不发生相变，不产生新的组元。

活化烧结：采用化学或物理措施，降低烧结温度，加快烧结过程，提高烧结体的密度以及其他性能的方法。

加压烧结：对松散的粉末或粉末压坯同时施以高温和外压。

液相烧结：烧结温度超过某一组元熔点的多元系烧结。

42、单元系固相烧结的性能变化：

低温烧结阶段（ $T < 0.25T_m$ ）：密度、孔隙率、强度、晶粒大小、基本不变，电阻率有所下降，变形粉末颗粒的恢复、吸附的气体和水分的挥发、成形剂和润滑剂的分解和排除。

中温烧结阶段（ $0.4T_m-0.55T_m$ ）：出现再结晶，变形的晶粒得以恢复。电阻率进一步降低，强度迅速提高，密度增加缓慢，晶粒大小变化较快。

高温烧结阶段（ $0.5T_m-0.85T_m$ ）：扩散和流动充分进行，形成大量闭孔并缩小，使得孔隙尺寸和总数有所减少，密度增加明显，强度、电阻率变化不大，但晶粒大小变化迅速。

43、活化烧结基本思想：

靠外界因素活化烧结，如在气氛中添加活化剂使烧结过程循环的发生氧化还原反应，在烧结填料中添加强还原剂，循环改变烧结温度，施加外力等。提高粉末活性，使烧结过程活化，常用活化工艺中，预氧化烧结，改变烧结气氛，添加微量活化元素属于化学活化烧结；依靠周期性的改变烧结温度属于物理活化烧结；使用超细粉末，高能球磨粉末兼有化学活化和物理活化特点。

44、烧结温度和时间对烧结性能的影响：

温度高有利于烧结，在烧结温度一定时，烧结温度越长，烧结体性能越好，但时间的影响不如温度的影响大；在烧结初期，密度随时间变化，因此延长烧结不能达到完全致密，欲保证烧结性能应提高温度并缩短烧结时间。（烧结温度越高，导致密度、强度、塑型、韧性都提高）

45、高分子材料的结构特点：

高分子材料指分子量大（大于 100000）由低分子单体聚合而成的材料。构成高分子链的单元称为链节。高分子材料的结构可分为分子内机构和分子间结构，分子内结构包括：化学组成、链节、连接方式、分子链类型、分子链形态、分子链

构象。分子间结构包括：结晶体（排列规则）、无定型体（非晶态）。

46、聚合物在不同温度下的物理状态与变形特点：

随温度的升高，聚合物将呈现玻璃态、高弹态、黏流态三种状态。

玻璃态（ $T < T_g$ ）：呈坚硬固体状，弹性模量和力学性能较高，服从胡克定律，具有机械加工性能。

高弹态（ $T_g - T_f$ ）：弹性模量显著减少，形变能力增强，对于无定型塑料可进行真空成型、压延和弯曲成型；对于结晶塑料，具有可延展性，黏性变形，滞弹性。

黏流态（ $T > T_f$ ）：弹性模量降至最低值，塑料具有可挤压性和可模塑性。

47、塑料的黏弹性：

在成形过程中，塑料的变形和流动同时具有弹性和黏性性质，数学表达式为：

48、非牛顿流体：

牛顿流动规律可表示为：

49、表观黏度的 η_a 的影响因素：

黏度是塑料熔体流变行为最重要的量度，对于非牛顿流体，其表观黏度受多种因素的影响。

聚合物结构和其他组分的影响

相对分子质量越高，熔体的黏度和非流动性越高，加入增塑剂和润滑剂黏度下降；加入固体填料，黏度上升；相对分子质量较宽的塑料对剪切速率的敏感性较大；

温度的影响：

一般而言，在黏流态，热塑性塑料熔体的黏度随温度上升而指数规律下降，不同溶剂敏感程度不同；

应力的影响：

外部压力上升，黏度上升，不同熔体对压力的敏感性也不同；

剪切速率的影响：

a 随剪切速率（或剪切应力）的升高而下降，不同种类的塑料对剪切速率的敏感性不同。

50、塑料成形过程的物理和化学变化

黏合物的结晶：分子结构简单，对称性高，分子作用力强的聚合物从高温向低温转变时都能结晶，结晶的不完全性用结晶度来表示，聚合物结晶时常生成球晶；

取向；聚合物的大分子链或结晶聚合物的微晶粒子在应力作用下形成的有序排列叫做取向；

降解：聚合物相对分子质量降低的现象称为降解，是化学反应；

交联反应：聚合物成形过程中形成网状结构的反应称为交联，又称硬化。

51、聚合物（塑料）成形工艺：

52、复合材料：指两种或两种以上不同性质的材料，通过不同的工艺方法，人工合成的各组分间有明显界面且性能优于各组成材料的多相材料。

53、复合材料的特点： 由于两种或两种以上不同性能的材料通过宏观或微观复合形成的，组元之间有明显界面； 复合材料中各组元不但可以保持各自的固有特性，而且可以最大限度发挥组元特性， 并且具有单一材料不具备的特性； 复合材料具有可设计性。

54、复合材料的分类：

按增强体类型分为：连续纤维复合材料，短纤维复合材料，颗粒增强复合材料，编织复合材料；按基体材料分类：聚合物基复合材料，金属基复合材料，无机非金属基复合材料。

55、聚合物基复合材料的成型工艺：

成型：即将预浸料按产品的要求，铺置成一定的形状；

固化：将已铺成一定形状的叠层预浸料，在温度、压力和时间等因素的影响下使形状固定下来，并能达到预计的性能要求。

常用的成型方法：

手糊工艺（长纤维） 模压成型工艺（颗粒与短纤维） 喷射成型工艺（短纤维） 挤出成型工艺

56、金属基复合材料的成型工艺：

固态法 扩散结合（连续纤维）； 粉末冶金（长纤维、短纤维、和颗粒增强）

液态法 压铸； 半固态复合铸造； 无压渗透；

喷射沉积法 将增强颗粒喷入雾化的基体金属液滴中并沉积在基板上凝固；

原位复合法 增强材料直接从基体中生成，增强相与基体界面结合良好，生成相热力学稳定性好，包括： 共晶合金定向凝固法； 直接金属氧化法； 反应生成法。

57、陶瓷基复合材料的成型工艺

纤维增强陶瓷基复合材料的制备： 泥浆浇铸法 热压烧结法 浸渍法

晶须与晶粒增韧陶瓷复合基材料的制备： 配料，将原料粉末混合配成坯料；
成型，将粉料充入模型内加压成型； 烧结，从生坯中除去黏合剂后的素坯烧
成致密固体； 精加工，提高尺寸精度和表面平滑性。

(一)粉末成型（短纤维、颗粒） (二)浸渍法（长颗粒） (三)熔体浸渍（变温下增强相
可能与基体发生反应） (四)反应生成

58、材料的界面

(一)、聚合物基复合材料，界面形成分两个阶段：

基体与增强纤维的接触与浸润过程；

聚合物的固化阶段。界面层的结构包括界面区域（厚度） ，界面微观结构
以及界面结合力等方面。 界面及其附近区域的性能、 结构都不同于组分本身， 因
而构成了界面层。界面层使纤维与基体形成一个整体，并通过它传递应力。

(二)、金属基复合材料的界面：

I 类界面是平整的，纤维与基体即不反应也不溶解；

II 类界面由原组分构成的犬牙交错的溶解扩散界面，纤维与基体不反应但
相互溶解。

III 类界面则含有亚微级左右的界面反应物质

(三)、界面类型还与复合方法有关。增强纤维与金属基体的界面结合可分为以下
几种：

机械结合：机械 结合及摩擦结合 I 类

化学结合：反应结合，生成界面反应层 III 类

物理结合：溶解和浸润结合 II 类

(四)、影响界面稳定性的因素：

物理因素：高温条件下增强纤维与基体之间的熔融

化学因素：在加工和使用过程中发生的界面化学作用

补充：复合材料的宏观结构

复合材料的宏观结构可分为基体和增强相。 基体的主要作用有： 把纤维黏在一
起；传递和分散载荷；赋予材料一定的形状，保护增强相。黏结在基体内以改进
其机械性能的高强度材料称为增强相，作用可分为承载和功能作用。

60、材料连接分类：

机械连接，如螺纹连接，铆接；

冶金连接，如焊接

物理化学连接，如粘接。

焊接：通过局部加热、加压或两者并用，在使用或不使用填料的情况下使分离的金属通过原子的结合而形成永久的连接。

焊接的分类： 熔化焊 ；将被焊工件连接处加热到熔化状态，使之熔合在一起，待冷却后形成牢固的接头；

压力焊：焊接时无论焊件加热与否，都施加压力，使其产生一定塑性变形形成牢固接头；

钎焊：采用比母材熔点低的材料做钎焊，加热到两者熔点之间使液态钎料润湿母材，填充接头间隙，并与母材原子相互扩散结合成牢固接头。

61、焊缝处的结晶特征：

形核：依附于熔池壁非均匀形核，取向附生，熔池处结晶往往晶粒粗大。

长大：沿温度梯度最大的方向生长形成柱状晶，当立方体的择优取向 $\langle 100 \rangle$ 与温度梯度最大方向重合时晶体有条件生长成柱状晶，而在靠近焊缝中心处可能出现等轴晶，由于熔池结晶过程冷速较快，熔池处常常出现偏析。

62、焊接接头的组织特点：

焊接接头包括：焊缝、熔合区、热影响区

焊缝：成分分为母材和填充材料，熔化后又凝固的部分发生结晶过程，生成柱状晶组织。

熔合区：焊缝与热影响区之间的区域，部分金属熔化，应力集中，是接头中的薄弱区域，组织为：过热组织 + 铸态组织，接近母材的一侧为过热组织，晶粒较大，塑韧性较低。

热影响区：受焊接过程热循环特点的影响发生相变

过热区：靠近熔合区，组织为 F+P或 M或 B，塑韧性较低；

正火区：温度 $>A_{C3}$ ，F+P，细晶粒，综合力学性能较好；

部分相变区： A_{C1} — A_{C3} ，F+P，晶粒大小不均匀，力学性能也不均匀；如母材经压塑变， $<A_{C1}$ 区域还将出现回复与再结晶，加工硬化消除母材成分对组织的影响：依母材化学成分的不同，HAZ中可能会出现 M、B、P、F 等不同的组织。

63、焊接性能

可焊性包括焊接工艺质量和焊后性能，由母材成分和焊接工艺决定，衡量的重要指标为碳当量，计算方法：

64、焊接产生的缺陷：裂纹、气孔、夹渣、应力（热应力和组织应力）、变形。