

工材与成型复习知识点：

- 1、力学性能：各种力学性能指标的代号。动载及静载下的力学实验有哪些。强度、塑性各指标的物理意义（不要只背概念，要思考并理解）。硬度的测量方法、测量压头及测量范围。冲击韧性及影响因素、断裂韧性及影响因素。
- 2、常见金属的晶体结构及代表性金属。三种常见晶体结构金属的力学性能（主要是塑性）
- 3、实际金属中的缺陷有哪些类别？每一类缺陷各有哪些代表？
- 4、实际结晶温度与理论结晶的关系，什么是过冷度，过冷度与冷速的关系。
- 5、结晶包括哪两个过程？结晶有哪些形核方式？同素异构是否是结晶？
- 6、什么是细晶强化？细化晶粒的措施有哪些？
- 7、固溶体的晶体结构及力学性能特点？（较纯金属而言，强度较高，塑性较好）。什么是固溶强化？
- 8、化合物的晶体结构及力学性能特点？（熔点高，硬而脆）。什么是弥散强化？
- 9、铁碳相图：
 - 1）能熟练默画铁碳相图，标注组织转变过程的相图并要求能正确填图。
 - 2）熟记各关键点字母代号、对应温度及各点的含碳量。
 - 3）熟知 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 三条临界温度线在相图上的位置。
 - 4）理解 ES 和 PQ 两条线的物理意义（是谁的固溶线），理解 ES 和 GS 两条线的相变物理意义（GS 是 A 和 F 的相变临界温度线，ES 是 A 和 Fe_3C 的相变临界温度线）。
 - 5）理解 ECF 和 PSK 两条线的物理意义（共晶线、共析线），能熟练写出两条水平线上的相变反应（写水平线上的相变反应式要标出相变温度，各相的成分用角标的形式写在相的右下角。成分线与水平线相交的合金均能发生水平线上的相变反应）
 - 6）在铁碳相图中对铁碳合金进行分类【工业纯铁、钢（共析钢、亚共析钢、过共析钢）、白口铁（共晶白口铁，亚共晶白口铁，过共晶白口铁），它们各自的含碳量是在什么范围？】。按室温平衡组织的不同，钢和白口铁如何分类（亚共析钢，共析钢，过共析钢，亚共晶白口铁，共晶白口铁，过共晶白口铁。它们在室温下的组织各是什么？）。能熟练画出亚共析钢、共析钢、过共析钢的组织形态示意图（画图时注意珠光体片层方向，网状二次渗碳体的画法），并用引线标出各组织组成物的名称。熟悉亚共析钢、共析钢、过共析钢的结晶过程。
 - 7）掌握铁碳合金成分对力学性能的影响（硬度、塑性、强度如何变化，一定注意强度既受成分影响也受组织形态影响）。
 - 8）利用杠杆定律计算不同钢的组织相对百分含量和相的相对百分含量，要会画杠杆。（注意复习习题册相关题目）
- 10、热处理的分类：整体热处理（4 把火）和表面热处理【包括表面化学热处理（渗碳和渗氮，渗碳适用低碳钢或低碳合金钢）和表面淬火（表面淬火适用中碳钢或中碳合金钢）】
- 11、热处理三部曲（加热、保温、冷却）

12、如何改善钢的切削性？（低碳钢正火，中碳钢退火，共析及过共析钢球化退火）。退火、正火热处理的工艺温度见图 1、图 2 所示（尽可能记住，因为热处理后的组织性能与温度密切相关）。熟练掌握各种工艺的目的。

正火温度区间：亚共析钢正火温度区间 A_{c3} 之上 $30\sim 50$ 度；共析、过共析钢的正火温度区间为 A_{cm} 之上 $30\sim 50$ 度，用一句话总结就是**正火是完全奥氏体化**。

退火温度区间：扩散退火和完全退火均为完全奥氏体状态（扩散退火目的是消除成分偏析，完全退火适用于亚共析钢）。去应力退火在 A_1 线之下，没有相变，去应力退火适用于铸件、锻件、焊件、切削加工件，目的消除工件应力。球化退火适用共析及过共析成分的钢，目的改善工件切削加工性。再结晶退火适用于冷变形的金属，目的消除加工硬化，恢复材料塑性。

淬火温度区间：亚共析钢淬火温度区间 A_{c3} 之上 $30\sim 50$ 度；共析、过共析钢碳钢的淬火温度区间为 A_{c1} 之上 $30\sim 50$ 度，用一句话总结就是碳钢的正常淬火温度区间画出来是一个钝角。此处要会分析亚共析钢、过共析钢的淬火温度为何如此选择（亚共析钢正常淬火是完全奥氏体化，目的是淬火后使碳全部进入马氏体中，提升材料硬度，若温度低于 A_{c3} ，会有铁素体存在，使材料硬度降低。过共析钢正常淬火是不完全奥氏体化，目的是使一部分碳存在渗碳体中，减小奥氏体的含碳量，也就是减小马氏体的含碳量，防止淬火后工件变形开裂）。

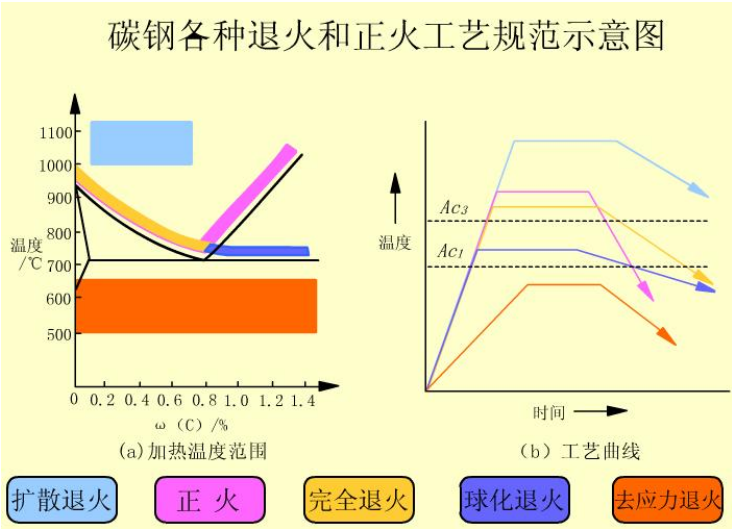


图 1 碳钢退火、正火温度区间

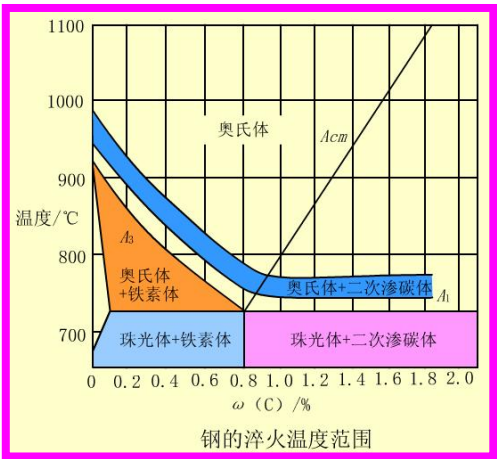


图 2 碳钢淬火温度区间

- 13、回火的种类有哪些？回火后各得什么组织？回火后的性能如何？回火后的硬度 HRC 如何？不同的回火工艺各适合什么样的工件。（习题册有相关练习）
- 14、渗碳适合什么钢种？（低碳钢或低碳合金钢）。渗碳的目的是什么？（提高工件表层的含碳量）。渗碳后钢表层的含碳量能达多少？（1.0%左右）。渗碳后工件表层是什么组织？（珠光体和二次渗碳体）。渗碳温度是多少？渗碳完毕如何进行热处理？（直接淬火或进行一次淬火，也可进行二次淬火），其热处理的目的是什么？（提高工件表层的强度硬度和耐磨性，工件心部的组织依据材料的淬透性具体分析是否发生组织变化）。渗碳并进行热处理后工件表层及心部各是什么组织，具有什么样的性能（表层组织为回火马氏体+碳化物+少量残余奥氏体，高硬度高耐磨性，心部淬透为低碳回火马氏体+铁素体，未淬透为 F+珠光体，心部塑韧性好，耐冲击）？你能说说渗碳件的使用场合吗？（工件要求表面硬度高，具有高耐磨性，适合重载、有大冲击的场合）
- 15、调质钢的成分具有何种特点，要求综合力学性能好时，终处理是什么（淬火+高温回火）？处理后的组织是什么（回火索氏体）？若要求工件表层硬度高，耐磨性好，应再进行何种处理（表面淬火+低温回火）？处理后表层和心部的组织各是什么（表层回火马氏体，心部回火索氏体）？表层及心部性能如何？
- 16、渗氮在什么温度？渗氮后用不用再进行热处理？（不需进行热处理）。渗氮后工件的性能有什么变化？渗氮钢常用牌号（38CrMoAlA）
- 17、常见的热处理缺陷有哪些？（氧化、脱碳、过热、过烧）什么叫过热？（因加热温度高，组织粗化，可通过正火工艺改善）。什么叫过烧？（加热温度接近固相线温度附近，因材料内部有低熔点共晶导致组织内部出现部分液相的现象，出现过烧，则零件报废）。
- 18、不同碳钢的 C 曲线如图 3-6 所示。图中亚共析钢、共析钢和过共析钢的 C 曲线类似，只不过亚共析钢和过共析钢的 C 曲线上各多了一个小翅膀，亚共析钢多的是 A 向 F 转变的区域，过共析钢多的是 A 向 Fe_3C_{II} 转变的区域。

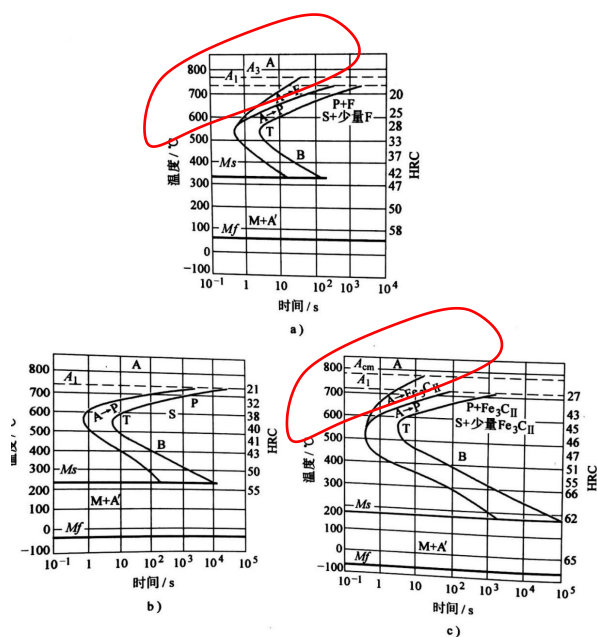


图 3-6 三种类型钢的等温转变图
a) 亚共析钢 b) 共析钢 c) 过共析钢

19、共析钢等温转变 C 曲线如图 4 所示。要熟悉珠图中各种线条的含义，珠光体、贝氏体和马氏体的转变温度区间以及 P/S/T/上 B/下 B/低碳 M/高碳 M 的形态特征与性能。各种组织的硬度规律也应心中有数。

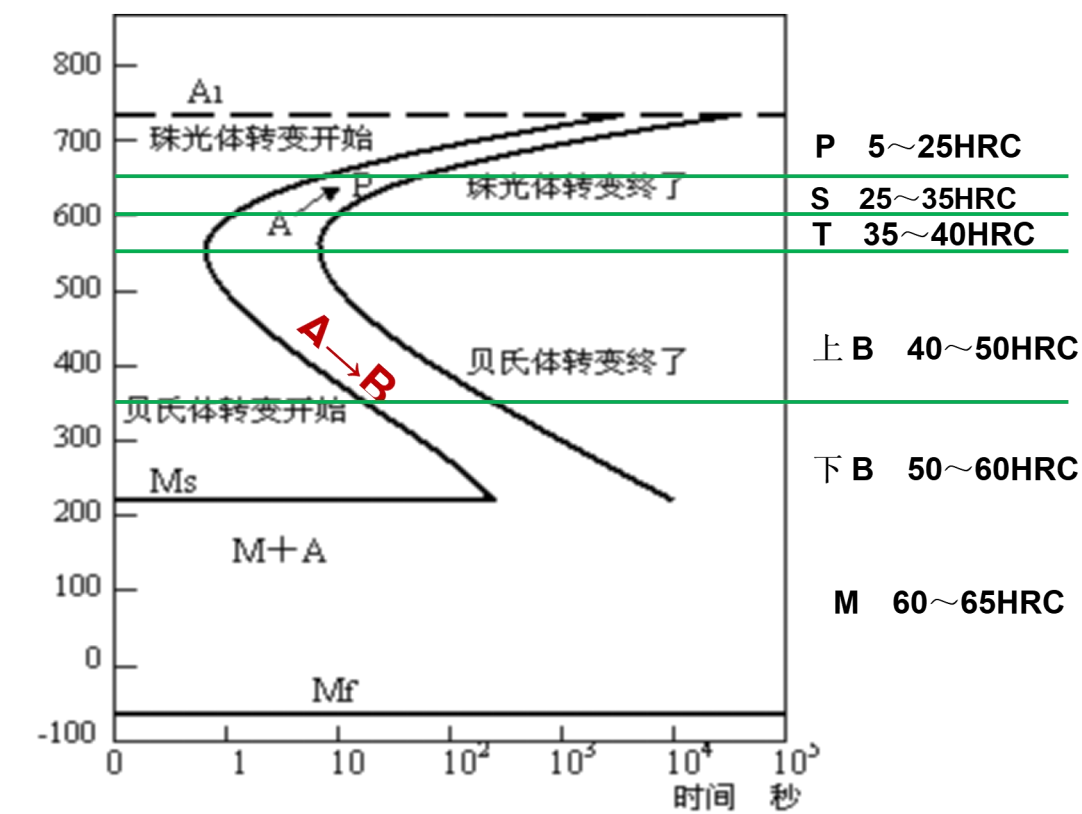


图 4 共析钢等温 C 曲线及各组织的硬度

20、复习习题册中有关 C 曲线的几个题目，掌握 C 曲线题目的做题方法。

21、

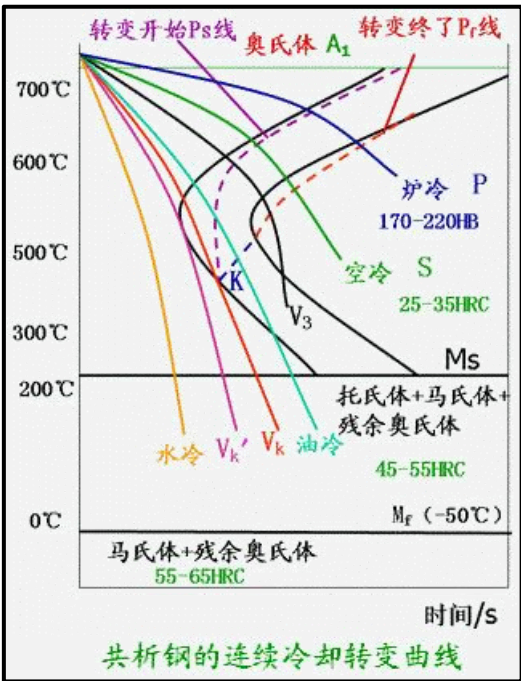


图 5 共析钢等温 C 曲线与连续冷却 CCT 曲线的区别与联系及不同冷速下的组织产物

图 5 所示为共析钢等温转变 C 曲线与连续冷却 CCT 曲线,下面我结合上图说明一下如何借助 C 曲线进行思考、分析不同冷速下得到的最终组织是什么。

(1) 观察图 5, 思考一下共析钢 C 曲线与 CCT 曲线的区别与联系。

联系: 两种曲线均有 P 相变区和 M 相变区。区别: 1) CCT 曲线中没有 B 相变区。2) CCT 曲线的孕育期长 (即 CCT 曲线比 C 曲线靠右)。3) CCT 曲线的过冷度大 (即 CCT 曲线比 C 曲线靠下)。

(2) 生产中的实际情况: 1) 已有的碳钢的 CCT 曲线非常少, 而等温 C 曲线非常多。原因: CCT 曲线冷速连续变化, 非常难以测定。2) 生产中的等温冷却少, 连续冷却多。原因: 等温冷却浪费能源, 占用设备, 大型零件需要的等温设备也很巨大, 不现实; 此外, 等温 C 曲线中低温 M 相变实际上就是连续冷却, 因为孕育期为 0。相同含碳量下, M 硬度高于下 B, 要想获得更高硬度更高耐磨性的组织, 淬火冷却得到 M 比得到下 B 更有效。

(3) 关于共析钢连续冷却后能否得到 B 的问题。大家一定要记住的一点是在共析钢等温 C 曲线中即便看到连续冷却速度线经过 B 相变区, 也不会得到 B 组织, 因为共析碳钢连续冷却下不会发生 B 相变。

(4) 关于亚共析钢、过共析钢冷却后组织中是否有 F 或 Fe_3C 的问题。

① 大家首先要记住的一点是, 不管是等温冷却还是连续冷却, 冷却过程中都只有过冷 A 发生相变, 其它组织不会发生相变。也就是说, 冷却前钢的组织中若有 F (亚共析钢) 或 Fe_3C (过共析钢), 冷却过程中 F 或 Fe_3C 都不会发生相变, 但它们会保留到室温。换句话说, 冷却前若钢的组织中有 F, 冷却后钢组织中就一定还有 F; 冷却前钢的组织中有 Fe_3C , 冷却后钢组织中就一定还有 Fe_3C 。

② 如何判断亚共析钢或过共析钢冷却前的是否有 F 或 Fe_3C 。大家一定要看铁碳相图, 关注一下冷却前的加热温度是在什么相区。对亚共析钢, 若冷却前的温度在 A_{c1} 和 A_{c3} 之间, 冷却后一定会有 F; 对于过共析钢, 若冷却前的温度在 A_{c1} 和 A_{cm} 之间, 冷却后就一定会有 Fe_3C 。

③ 若亚共析钢或过共析钢加热前处于单一奥氏体区间, 冷却后钢的组织中是否有 F 或 Fe_3C 的判断方法。重点要会看 C 曲线。

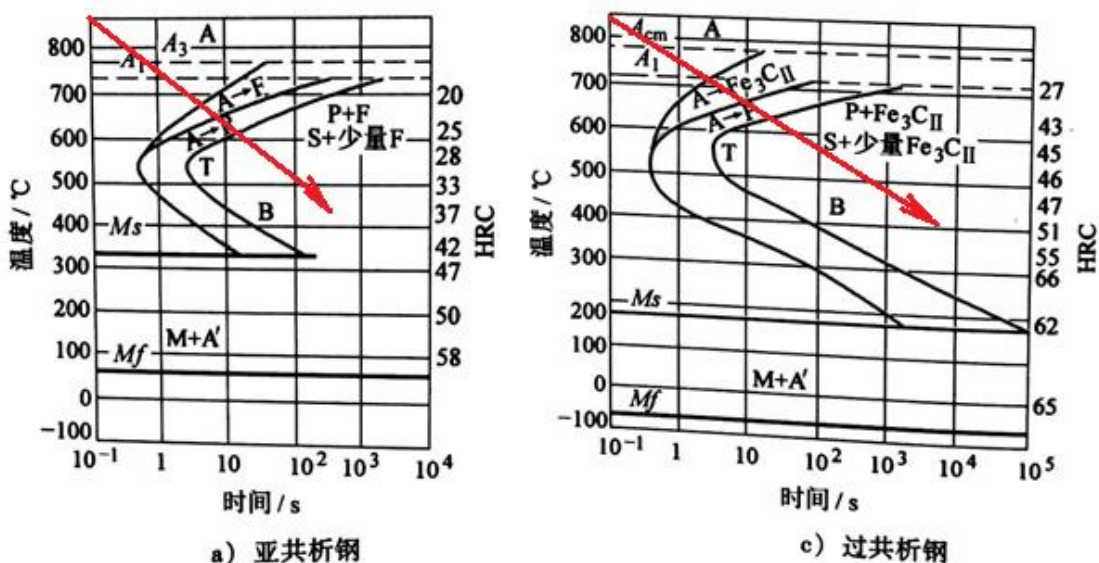


图 6 亚共析钢、过共析钢等温 C 曲线

如图 6 所示的亚共析钢 C 曲线，若按图中红色线冷却，室温下组织中是否有 F 呢？回答是“有”。因为冷却速度线与 A 向 F 转变的开始线相交，所以会有 F，但这个 F 是 A 相变产生的，与②中讲到的 F 含义不同。如图 6 所示过共析钢 C 曲线，若按图中红色线冷却，组织中是否有 Fe₃C 呢？答案也是“有”。因为冷却速度线与 A 向 Fe₃C 转变的开始线相交，所以冷却后组织中会有 Fe₃C，但这个 Fe₃C 是 A 相变产生的，与②中讲到的 Fe₃C 含义也不同。

(5) 如何看冷却速度线。

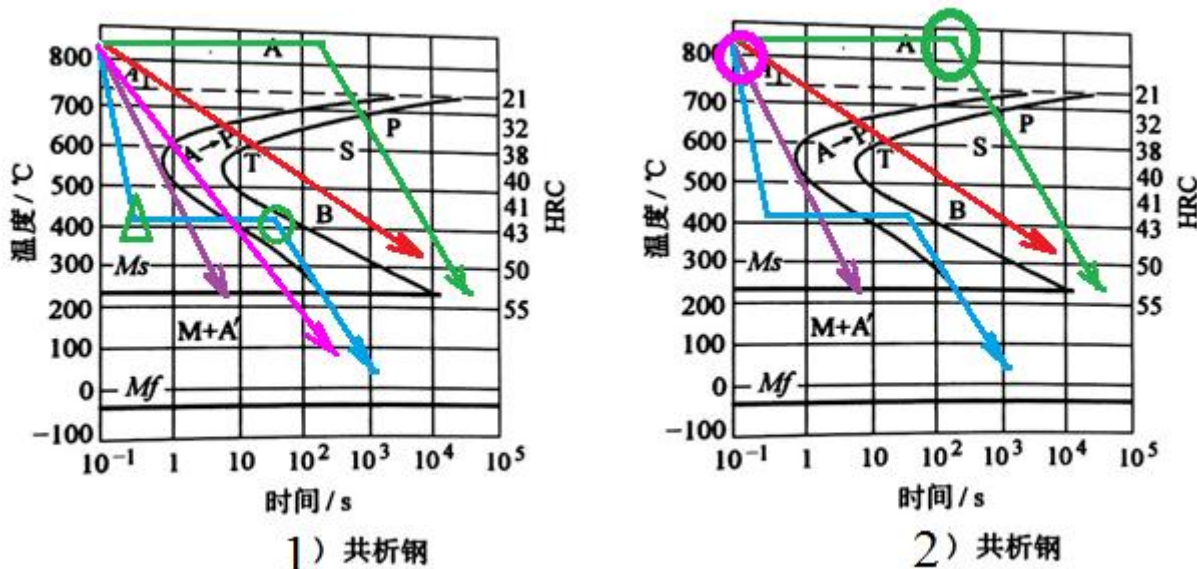


图 7 共析钢等温 C 曲线及不同冷却速度线

图 7 中的 1) 图所示为共析钢等温 C 曲线，图中有绿、红、兰、紫、玫红 5 条冷却速度线，其中绿色线与其它 4 条冷却速度线的区别是：冷却前，绿色线在高温 A 区保温了一段时间。由于过冷 A 是在低于 A₁ 线时发生相变的，我们重点要分析的是①冷却前，组织是什么？②冷却开始后，其冷却速度线是否与 C 区线相交，这对冷却后的最终组织是什么有重大影响。由 1) 图可知，冷却前，钢的组织是单一 A，在后续的冷却中也只有 A 发生相变，①问题解决。要回答②问题，需借助已学的知识。我们知道，共析钢在 A₁ 线以下发生 P 相变或发生 B 相变均需要一定的孕育期，而发生 M 相变则孕育期为 0（孕育期为过冷 A 发生相变前所停留的时间）。由图 7 中的 1) 图可知，绿色线条的等温停留时间在稳定 A 区，而非 A₁ 线以下，其等温的时间只能称为热处理工艺中的保温时间，而非孕育期。所以按绿色线冷却，分析冷却后的组织是什么，我们不能受其保温时间的干扰，需按图 7 中 2) 图所示的那样，将绿色线的冷速线由绿圈位置平移至紫圈位置。因紫色线与 C 曲线鼻子尖相切，其冷速大于 M 相变的临界速度 V_k（见前面图 5。图 5 中 V_k' 与 C 曲线相切，V_k 与 CCT 曲线相切，因 CCT 曲线比 C 曲线靠右，故 V_k' > V_k。V_k 是相变得到 M 的最小临界速度，若按 V_k' 的速度冷却，一定会发生马氏体相变），所以按紫色线冷却，最终得到的组织为 M+A'。因绿色线冷速线与紫色线平行，冷速一样，所以按绿色线冷却，最终得到的组织也是 M+A'，但因为在稳定 A 区，绿色线保温时间长，晶粒会长大，所以按绿色线冷却得到的最终组织准确地讲应为粗大的的 (M+A')。由上述分析可知，在做冷却后组织分析时，首先要保证冷却速度线在开始冷却时是从 C 曲线的纵轴处冷却的（或者说冷却开始时

孕育期为0)，千万别受高温保温时间的干扰。

1) 图中按红色线冷却得到什么组织。①冷却前，钢的组织为单一 A。②自冷却开始，冷速线慢慢与 C 曲线的 P 相变区相交，既碰到了 P 相变开始线，又碰到了 P 相变终了线，在此过程中，A 全部转变为 P。

结论：碰到 P 相变开始线，一定发生 P 相变，但 P 相变能否相变到底，要看冷速线能否与 P 相变终了线相交，只有与相变终了线相交，才能得到 100% 的 P。

1) 图中按兰色线冷却得到什么组织。①冷却前，钢的组织为单一 A。②冷却开始后，先连续冷，再等温冷却，随后又连续冷，冷速分 3 段。③在冷速第 1 段，冷却速度线没有与 C 曲线相交，不会发生 P 或 B 相变，所以在第 1 段的任何位置，钢均为过冷 A；在冷速第 2 段，为等温过程，冷速线与 B 相变区相交。能不能发生 B 相变呢？能。因为等温转变能得到 B。等温完毕，组织是 100% 的 B 吗？不是 100% 的 B，因为等温线未与 B 转变终了线相交，所以 B 转变不完全。等温结束后的组织为 B 和过冷 A。③冷速第 3 段为连续冷却，能否得到 M？要给出此问题答案，须将第 3 段的冷速与马氏体临界冷速 V_k 相比较，若其大于 V_k ，发生 M 相变，否则没有 M 相变。做题方法：将 1) 中兰色线的第 3 段由圆圈位置平移至三角位置（见图 7 的 1) 图），看平移后的冷速是否比紫色线斜率大，斜率越大，线越陡，冷速越快，则会发生 M 相变。经比较发现，第 3 段冷速与紫色线斜率相同，所以在兰线第 3 段一定会发生 M 相变。综合①②③得到，按兰线冷却，钢的最终组织为：B+M+A'。结论：A1 线下的等温冷却，一定先判断冷速线是否与相变开始线相交，若相交，一定会发生对应的相变。至于等温相变是否完成，要看等温线是否与相变终了线相交；若相交，过冷 A 无剩余；若等温线未与相变终了线相交，等温完毕过冷 A 一定有剩余。至于剩余的过冷 A 在后续连续冷却中能否发生 M 相变，须将等温后的冷却速度线平移至等温开始位置，依据平移后的冷速线是否大于 V_k 判断连续冷却过程中能否发生 M 相变，若大于 V_k ，有 M 相变发生；因 M 相变具有不完全性，还会有 A'。若小于 V_k ，未转变的过冷 A 就会留到室温。

1) 图按玫红线冷却，得到什么组织？答案：T+M+ A'（原因：冷速线过 T 相变区，有 T 产生，但冷速线未与 T 相变终了线相交，所以过 T 相变区后仍有剩余。冷速线过 B 相变区，但无 B，因为共析钢连续冷却不产生 B。过 B 相变区后会不会发生 M 相变？参照图 5 油冷的结果，推测会发生 M 相变，最终组织为 T+M+ A'）

22、钢中的杂质（S 和 P 的危害），钢材的分类（上课讲的几种分类方法均需掌握）。如何理解合金元素？材料牌号：Q275（低碳碳钢），Q295（低碳合金钢），20Cr、25（低碳渗碳钢），45、40Cr（中碳调质钢），T12、T10A、9SiCr（高碳工具钢），65、60Si2Mn（中高碳弹簧钢），GCr15（滚动轴承钢，Cr 含量为千分数），W18Cr4V（高速钢），ZG200-400、ZGMn13（铸钢，其中 ZGMn13 为耐磨铸钢），H59（黄铜），HT150（灰铸铁），QT400-18（球铁）。要熟悉低碳渗碳钢、中碳调质钢、高碳工具钢的热处理工艺及热处理后的组织性能（低碳渗碳钢：机加工前须正火，机加工后，须渗碳、淬火和低温回火；中碳调质钢，机加工前须退火，机加工后，可调质，还可表面淬火和低温回火；高碳工具钢，机加工前，须球化退火，机加工后，须淬火和低温回火；弹簧钢终处理为淬火+中温回火）。

23、铸铁的分类（按石墨形态分，按铸铁中 C 的存在形式分）？铸铁的成分特点是什么？（C、Si、Mn、S、P 含量高）。石墨对铸铁性能有何影响？影响铸铁石墨化的因素有哪些？（内因：化学成分，C、Si、P 促进石墨化，Mn、S

阻碍石墨化。外因：温度和冷速）。灰铸铁常做哪些零件？球墨铸铁常做哪些零件？灰铸铁有哪些热处理工艺？（去应力退火、消白口的高温退火、提高表面耐磨性的表面淬火）。球墨铸铁有哪些热处理工艺（退火、正火、淬火回火都可以）？常见的孕育剂是什么？（75%的硅铁或硅钙合金）。孕育铸铁性能与普通铸铁有何不同？（组织细小，力学性能高）

24、按工艺特点不同，铝合金如何分类？（形变铝合金和铸造铝合金两类。）铝合金的热处理强化工艺有哪些？（固溶处理和时效强化，注意只有能热处理强化的铝合金才能进行热处理）。铸造硅铝明是什么成分的合金？（铝硅合金）

25、按颜色分，铜及铜合金有哪些分类？普通黄铜的成分是什么？举出普通黄铜的一些牌号。（H59，H62，H90 等）

26、金属塑性变形在切应力下完成，单晶体塑性变性的方式有哪些？（滑移和孪生）。塑性变形的实质是什么？（位错运动）。

27、什么是冷变形，什么是热变形？（加工温度高于再结晶温度是热变形，加工温度低于再结晶温度是冷变形。注意计算中均用开氏温度计算，防止出错）。铅室温下加工是冷加工吗（铅的熔点 327℃）？为什么？金属冷变形过程中组织和性能各发生什么变化？什么是加工硬化？加工硬化有何利弊？生产上如何消除加工硬化？（再结晶退火）

28、什么是回复？回复过程中组织和性能有何变化？什么是再结晶？再结晶过程中，组织和性能有何变化？再结晶后晶粒的晶体结构与再结晶前相同吗（相同，晶体结构不变）？

29、什么是纤维组织？纤维组织能否热处理消除？（不能热处理消除）。如何合理应用纤维组织？（拉应力和纤维方向平行，切应力和纤维方向垂直）。

30、什么是锻造流线？使用锻造流线有何注意事项？（锻造流线最好沿锻件外廓分布，不要切断）

31、什么是可锻性？其影响因素有哪些？（内因，材料的塑性；外因，变形温度、变形速度、压应力个数）

32、金属塑性变形遵循哪些基本定律？（最小阻力定律和体积不变定律）。你知道哪些压力加工工艺方法？（轧制、拉拔、锻造等）

33、自由锻的特点是什么（采用通用工具，零件形状简单，单件小批生产，零件误差大，工人劳动强度大，制造大型锻件的唯一方法）？自由锻有哪些工序？自由锻件进行结构设计应注意哪些问题？（注意结构改错）

34、模锻的特点是什么？模锻模膛如何分类？预锻模膛与终锻模膛各有何特点？（复习习题册）

35、什么是铸造性能？如何评判合金的流动性好坏（用固液相线温差判断）？什么是合金的充型能力，其影响因素有哪些？（合金成分或合金流动性、铸型结构及性质、浇注条件）

36、铸件的凝固方式？（逐层凝固、糊状凝固，中间凝固）。铸件的收缩有几种类型？（液态收缩、凝固收缩、固态收缩）。缩孔缩松产生的根本原因是什么？如何减小缩孔和缩松？（理论上采用定向凝固原则，工艺上合理设置冒口、安放冷铁）

37、铸造应力有哪些？（热应力、机械应力、相变应力），如何减小铸造应力？（理论上采用同时凝固原则）

38、铸件中的气孔有哪些？（析出性气孔、反应性气孔、侵入性气孔）

39、金属型铸造、熔模铸造、压力铸造、离心铸造的特点各是什么？

40、铸件结构设计（如何避免各种缺陷，如何进行外形设计，如何进行内腔设计。看书上的图或看课件，复习习题

册上相关题目)

41、按工艺特点不同，焊接分哪几类（熔焊、压焊、钎焊）？它们各有哪些焊接方法？

42、什么是可焊性？评判材料的焊接性有哪些方法？各有何特点？如何评判的？（着重掌握碳当量法）

43、低碳钢焊接接头包括哪些部分？各部分的组织和性能有何特点？

44、低碳钢焊接热影响区包括哪几部分？各部分的组织和性能如何？

45、焊接应力和变形产生的原因是什么？如何减小焊接应力（设计焊缝注意少、散、小，焊接时注意焊接顺序、焊前预热，焊接过程采用软焊接规范，焊后可在红热状态下锤击或碾压焊缝，注意焊后热处理）？焊接变形有哪些？如何预防和矫正焊接变形（预防或减小焊接变形的措施：能减小焊接应力的方法都能减小焊接变形。预防焊接变形的常用方法：反变形法和刚性固定法。矫正焊接变形的的方法：机械矫正和火焰加热矫正，注意火焰加热时想让哪收缩就加热哪）？（书上各种图好好理解）

46、板材拼焊如何确定焊接次序（先短后长，焊长缝时短缝要 T 型交错）？工字形焊接其焊接次序如何（先交叉后临近，注意临近时要连接的板材不能变）？

47、焊缝布置有何要求？（少、散、小，尽量远离应力集中区域，尽量对称布置，要便于焊接操作）（看课本或课件中的图）

48、~~酸碱性焊条如何区分？各有何特点？什么是正接，什么是反接，各用于何种场合？~~

49、~~埋弧焊，氩弧焊、二氧化碳气体保护焊、点焊、缝焊、电阻对焊、钎焊、摩擦焊各有何特点？~~

50、~~选材的 4 个基本原则（实用性原则、工艺性原则、经济性原则、环保性原则）。如何进行零件失效分析（分析材料成分组织是否合理，分析热处理工艺是否合理）~~