

淬硬性和淬透性的概念介绍

北京钢铁研究总院北京纳克分析仪器有限公司 (100081) 张久龙

淬透性和淬硬性是表示铁碳合金（包括钢及铸铁等，以下称钢）经过淬火后所表现出来的两项指标（其他合金很少采用这些指标）。它们虽然只有一字之差，但在涵义和实际应用上却是截然不同的，这两个概念往往容易混淆。

一、淬透性和淬硬性的概念

1. 淬硬性

淬硬性表示试样在规定的工艺条件下淬火，可获得的最高硬度值。

淬硬性表示钢在淬火时获得硬度高低的能力，不同试样的淬硬性进行比较时，只需对其获得的最高硬度进行比较即可。例如：形状、尺寸相同的不同试样淬火后，所获得的硬度值大小是不相同的，可以根据所获得的最高硬度来进行淬硬性的比较，硬度越高的淬硬性越好；反之，硬度越低的淬硬性越差。

当材料的成分一定时，淬硬性将是一个固有量，不随零件的尺寸和形状而变化。但是，零件的淬硬性并不代表其一定能够得到的硬度，其实实际硬度值将是由加热温度、保温时间、冷却介质和出水温度等许多条件决定。

淬硬性一般是无量化值，通常是以含碳量的高低进行衡量。在零件的设计图中，一般只要求应达到的硬度值。

2. 淬透性

试样在规定的工艺条件下淬火，所能获得的最大淬硬层的深度。

淬透性，表示试样在淬火时获得硬化层深度的大小的能力。所谓硬化层深度，是指从试样淬火表面起，垂直于试样表面测量，由表面到硬度值为某个值（或淬火组织的构成比例）的位置时的距离。形状、尺寸相同的不同试样，在相同条件下淬火后，它们所获得淬层深度

是不相同的，淬硬层深度越深，我们就说其淬透性好；相反，淬硬层深度越浅，其淬透性差。

当材料的成分一定时，淬透性将是一个固定值。

淬透性是量化值，通常是以有效硬化层深度的大小进行衡量。在零件的设计图中，一般只要求有效硬化层深度。

3. 淬硬性与淬透性定义的区别

淬硬性是以试样淬火后可能获得的硬度大小来反应和对比；而淬透性却是以淬硬层的深度来反映和对比，而与材料能够获得的最大硬度没有关系。所以从概念上淬透性和淬硬性的衡量指标是不同的，而且它们之间没有相关性。

二、形成机理的区别

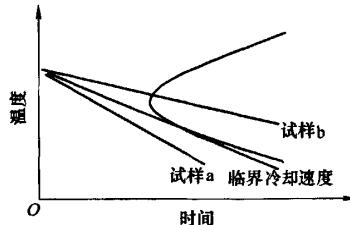
1. 硬度的形成机理

钢的硬度越高，受外力作用时越不易产生变形。从金属学的角度来分析，金属不易变形的原因是其晶体中的晶格不易产生变形。在马氏体晶格中，溶入的碳原子使晶格产生变形（体心立方晶格畸变），从而导致晶面不再平整，相当于一个平滑的路面变的凹凸不平。当我们用一外力推动晶格，使他沿晶面产生滑移时，由于晶面的凹凸不平使滑移阻力增大，滑移变的非常困难，也就是说其抵抗变形的抗力增加，硬度得到提高。当溶入的碳原子增加时，晶格变形数量就会增加，阻碍晶格移动的障碍就增加了。于是，从宏观的角度来看，材料的硬度也会随之增大，所以含碳量越高时，钢可能获得的硬化程度就高，淬硬性就越好。

2. 淬透性的机理

材料在淬火时，表面的冷却速度（单位时间下降的温度）一定是大于临界冷却速度的，表面将形成淬火马氏体组织。但是试样在淬火时，由于热传导的阻碍，从表层到心部其实际冷却速度却不相同，表层的冷却速度

快，心部的冷却速度慢。对于成分一定的钢，其临界冷却速度是不变的，也就是说其C曲线的位置是不变的（如附图所示）。当材料内部的某个层面的冷却速度低于临界冷却速度时，在这个层面上就开始获得非马氏体组织，也就不再获得完全马氏体组织的淬硬层了。当然，实际工作中往往规定含马氏体组织达到某个量时的位置为硬化层的界限，并不要求将一出现非马氏体组织的部位就定义为未淬火的部位。



钢的C曲线（鼻端冷却曲线）

当临界冷却速度降低，即C曲线右移时，满足实际冷却速度大于临界冷却速度的部位的深度也将增加，淬硬层将会增加。当心部的实际冷却速度大于临界冷却速度时，工件整体将获得淬火组织。

三、影响因素的区别

1. 淬硬性的影响因素——含碳量

当含碳量越高时，试样在淬火后获得的马氏体晶格畸变越严重，使得钢的硬度也就越高，其淬硬性也越高。例如：45钢 $w_c = 0.45\%$ ，而65钢的 $w_c = 0.65\%$ ，所以在淬火后65钢的最大硬度高于45钢，故65钢的淬硬性应比45钢好。在钢中有时会存在一定量的合金元素，这些合金元素的存在虽然可以产生固溶强化现象，但对硬度的影响不大，故对淬硬性的影响也不大。

2. 淬透性的影响因素——临界冷却速度

钢淬火后其淬硬层组织为马氏体。为了获得马氏体，要求其实际冷却的速度应大于临界冷却速度，图中试样a的冷却速度大于临界冷却速度，而试样b的冷却速度小于临界冷却速度。而在实际工件淬火的过程中，由于工件表层到心部的冷却速度逐渐降低，所以只有实际冷却速度均大于临界冷却速度的时候才能获得所需的淬硬层。相反当某一位置的冷却速度低于临界冷却速度时，其淬火后的组织为非马氏体，也就得不到所需的淬硬层。例如：尺寸相同的40钢和40Cr钢在相同条件下淬火后，40Cr的淬硬层大于40钢。因为40Cr钢中含有

合金元素，它可以使C曲线右移，让钢的临界冷却速度降低，所以40Cr钢和40钢即使有相同的冷却速度，但40Cr的淬透性要比40钢的好。影响临界冷却速度的因素均能影响淬透性，而临界冷却速度的主要影响因素是合金元素。

钢中存在的（尤其是人为添加的）大部分合金元素都可以使C曲线右移，降低钢的临界冷却速度。所以，一般来说，合金钢的淬透性均高于碳素钢。

四、测量方式的区别

1. 淬硬性的测试，主要通过硬度的测试即可获得其淬硬性

用形状、尺寸相同的若干试样，在不同的条件下淬火时，用硬度计对它们的硬度值分别进行测试，所测得的硬度值中的最高硬度值，即为此种钢的淬硬性的指标。需要特别指出的是，淬硬性是指材料可能获得的最大硬度值，但不是一定能够达到的指标。换句话说，材料成分一定时，其可能获得的最大硬度值，即淬硬性是一定的，但能否达到这一指标是由工艺参数即外界条件的变化而决定的，所以在选定指标时以最大硬度为衡量指标。而最大硬度的大小由碳含量的多少确定，所以我们在比较大小时，只需比较含碳量。

2. 淬透性的测定方法，常用的有临界直径法和端淬法

(1) 临界直径法 将同一种钢不同直径的圆柱试样加热到规定的温度，保温一定的时间后，在同一种冷却介质中进行淬火。将试样垂直于轴线方向截断，根据金相或者硬度的对比，检查其心部是否被淬硬。心部的组织或者硬度同外表面的一致时（或者是允许的范围内），被认为是“淬透”。能被淬透的最大直径为该钢种在该介质中的临界直径。不同的钢在比较淬透性时只需要比较它们的临界直径值的大小，直径越大，淬透性越好；反之直径越小，则淬透性越差。这种方法工作效率较低，很少被采用。

(2) 顶端淬火法（JOMINY试验） 将规定尺寸的试样按标准GB225的规定加热至淬火温度，保温一定时间后，迅速移至端淬装置上进行喷水冷却。此时沿着试样长度方向上各部位的冷却速度是不相同的，顶端冷却速度最快，离顶端越远，冷却速度越慢。当试样冷至规

定的温度后取下试样，磨平两侧，按照 GB225 的要求，沿长度方向测量不同位置上的硬度值，画出硬度随深度变化的曲线，找出硬度值为规定的临界硬度，其该点横坐标的位置即为淬硬层深度。不同钢在比较淬透性时，只需要通过淬硬层深度的大小来判断，当淬硬层深度较大时，其淬透性好，反之其淬透性就较差。

五、实际应用

作为选材的依据，淬硬性和淬透性有着不同的用途及标准。

1. 淬硬性指标的应用

当材料成分一定时，能够得到的最大硬度值也是固定的。在选择材料时，根据零件提出的硬度要求为依据，选取一定含碳量的钢，以达到相应的淬火硬度指标。

一般说，硬度与韧性成反比，硬度越高，韧性越差，反之也成立。所以，当要求材料耐磨损时，应选择含碳量高的材料，以达到高的表面硬度指标。而对于要求其韧性好的零件，一般选择低含碳量的钢。

当然，为了达到既有好的韧性，同时又有高的表面硬度，还可以通过表面热处理或化学热处理的方法来实现。这里不详细探讨。

对于热处理工艺而言，钢的淬硬性指标可以作为检验工艺参数是否合理的标准。因为，正常淬火组织的硬度一般应该能够达到或接近它的淬硬性指标。但是，影响实际淬硬程度的因素有很多，如选用的淬火介质及出水温度等。因此，如果所选用的热处理操作步骤及工艺参数不同，有可能使硬度指标达不到要求。

2. 淬透性指标的应用

当材料成分一定时，淬透性是材料本身固有的特性。在设计零件时，根据零件实际工作时的受力情况进行选材，一般都要考虑淬透性的问题。因此，淬透性是机械设计中对材料选择的重要依据。不同的零件在工作时所受的载荷不同，对钢淬透性的要求也不同。例如：连杆和螺栓在工作时主要承受拉应力，要求工件截面上力学性能均匀，必须选择淬透性好的钢，而机床的主轴和齿轮等主要是用来传递扭矩的，截面上所受应力不是均匀分布的，主要承载部分为表面。同时，零件的表面也要求有较高的耐磨性，而心部要求较软，以吸收冲击能。因此，这类零件对材料的选择，一般来说不要求材

料淬透性太高，淬火时得到一定的淬硬层即可。这里需要特别说明，生产实际中，对于大载荷齿轮，一般采用低碳高合金钢，以期得到好的淬透性，提高其整体强度指标；同时，进行表面化学热处理，以提高表面硬度。本文只是简单地论述了淬硬性和淬透性的区别，并不代表实际应用。

六、几种工艺参数对实现淬硬性和淬透性指标的影响

1. 加热温度

加热温度的高低，直接影响钢的奥氏体化程度，也影响淬火后马氏体的形成量。因此，加热温度将直接影响实际淬火的硬度。

材料内部组织的奥氏体化程度，直接影响其淬火硬度。因此，加热温度也将间接影响材料的实际淬透性。

一般来说，只要加热温度达到材料的奥氏体化温度即可，加热温度过高对提高材料的淬火硬度和淬透性没有意义。

2. 保温时间

保温时间的长短，关系到 C 原子进入 Fe 晶格中的数量，也就是说影响到在淬火过程中能够产生的位错的程度。因此，保温时间的长短，间接地影响实际的淬火硬度。

同样道理，保温时间的长短将影响材料内部组织经过淬火后所能获得的硬度，因此，保温时间也将影响材料的淬透性。

但是，保温时间过长，对淬火硬度和实际淬透能力的提高没有意义，并且容易导致晶粒粗大，使材料的强度降低。

3. 淬火介质

对淬硬性而言，只要试样表面的实际冷却速度大于临界冷却速度，在进行淬火时，实际冷却速度对试样表面的硬度就没影响。而淬硬性考察的是试样可能获得的最大硬度值，所以，淬火介质对淬硬性指标没影响。

淬透性主要受临界冷却速度影响。试样心部的冷却速度要低于表面的冷却速度，因此，心部的实际冷却速度的不同将影响淬火后所得到的组织。例如我们将尺寸、形状、材料完全相同的试样，放在不同冷却能力的

(下转第 74 页)

(1) 工步 I 正挤尾端。挤压前毛坯长度 $\phi 44\text{mm} \times 234.6\text{mm}$ → 挤压后 $\phi 28.8\text{mm} \times 249\text{mm}$, 凸模行程 22mm, 最大挤压力 2050kN, 最大顶出力 352kN, 变形功 40kJ。

(2) 工步 II 正挤锥体。挤压前毛坯长度 $\phi 44.6\text{mm} \times 249\text{mm}$ → 挤压后 $\phi 54.4\text{mm} \times 264\text{mm}$, 凸模行程 63mm, 最大挤压力 1740kN, 最大顶出力 294kN, 变形功 55kJ。

(3) 工步 III 径向挤头部。挤压前毛坯长度 $\phi 44.6\text{mm} \times 264\text{mm}$ → 挤压后 $\phi 76.5\text{mm} \times 179\text{mm}$, 凸模行程 78mm, 最大挤压力 9156kN, 最大顶出力 203kN, 变形功 286kJ。

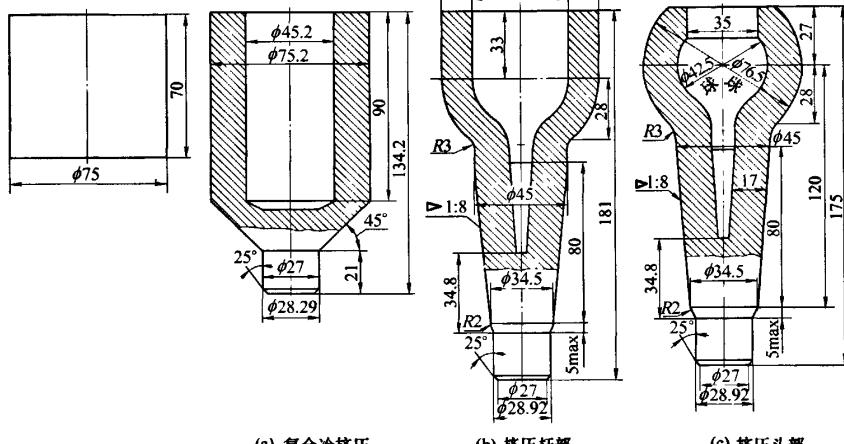


图 5 空心球头销冷变形工步
该工艺保证了沿挤压件长度方向变形的均匀性, 但非等强度。在正挤压长锥体过程中, 用空心毛坯缩径代替, 消除了作用在凹模上的巨大支撑力, 从而提高了凹模的寿命。MW (待续) (20080820)

(上接第 69 页)

介质中进行冷却, 试样表面的冷却速度达到了临界冷却速度, 但是, 心部的冷却速度在冷却介质的冷却能力较弱时, 将有可能达不到临界冷却速度。如附图所示, 当介质的冷却能力较弱时, 心部(类似于 b 曲线)的冷却速度均比较慢, 部分的冷却速度有可能穿过 C 曲线进入非马氏体区, 从而导致所需的淬硬层比较薄, 其淬透性也就比较差。所以说, 同一种钢在不同的介质中淬火所得的淬硬层深度是不同的。在比较不同钢的淬透性时, 一定要在相同的条件下, 才能用淬硬层深度的大小来比

各工步力-凸模行程曲线见图 4。

3. 空心球头销的冷挤压工步

上述工艺过程, 球头部位变形量很大, 有时会出现裂纹。为了提高产品质量, 节约金属, 减小汽车的重量, 设计了空心球头销的挤压工艺, 其工步见图 5。

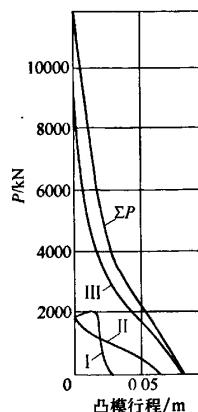
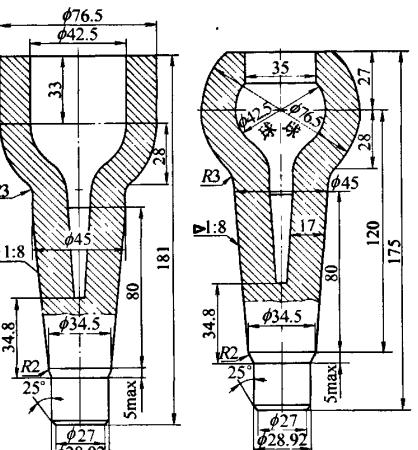


图 4 力-凸模行程曲线



(a) 复合冷挤压 (b) 挤压杆部 (c) 挤压头部

较淬透性。也就是说, 一定要按照国标 GB225 的要求进行试验, 才能有可比性。

七、结语

通过以上分析可以看出, 淬透性和淬硬性是两个完全不同的概念, 它们之间相互独立, 互不相关。淬透性好的钢淬硬性不一定好, 相反淬硬性好的钢淬透性也不一定好。在实际应用的过程中一定要根据不同要求合理选择, 不能盲目选取, 所以应从根本上理解和区分这两个概念, 有了清晰的概念, 才能正确地使用。MW

(20080808)