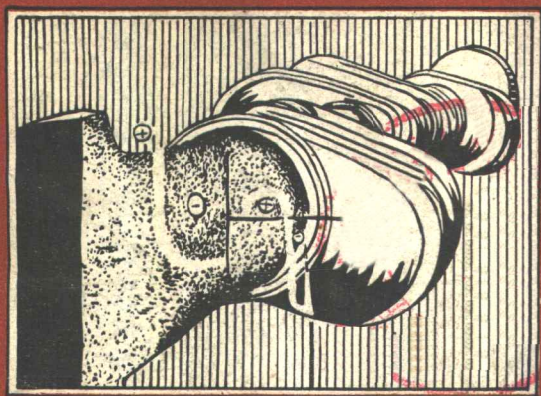




第 4 册

高频加热淬火制件的組織与性能

[苏联] Г. Ф. 高乐温 著



上海科学技术出版社

高频热处理丛书

第 4 册

高频加热淬火制件的
组织与性能

[苏联] Г. Ф. 高乐温 著

蒋 达 译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本丛书原版第一版于1954年出版,曾由本社翻譯出版。1957年原书有了第二版,内容有相当大的修改,若干册书名亦有更改,为此根据新版本重譯重排,陸續出版。

本书为高频热处理丛书的第四册,介紹鋼和鑄铁在高频热处理时所产生的轉变过程的基本概念,并敘述了表面淬火零件的性能。較第一版增加了鑄铁和合金鋼的淬火和鋼的滲碳。

高 頻 热 处 理 丛 书

第 4 册

高频加热淬火制件的組織与性能

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ, ЗАКАЛЕННЫХ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРЕВЕ

原 著 者 [苏联] Г. Ф. Головин

原出版者 Машиз · 1957年版

譯 者 蔣 · 达

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

中华书局上海印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印張 1 18/32 字数 33,000

1961年11月第1版 1961年11月第1次印刷

印数 1—5,600

統一书号: 15119·1633

定 价: (十二) 0.20 元

序 言

- 苏联科学家 B. П. 伏洛格金所研究出的用高频表面加热作钢零件热处理的先进方法, 在工业中已广泛采用, 因此要求详细地研究淬火制件的质量性能, 及由于应用快速感应加热而发生的金属组织转变的特点。

以 B. П. 伏洛格金教授命名的高频电流科学研究所以及其他部门, 其中特别要提到莫斯科钢铁学院、中央工业技术与机器制造科学研究所、莫斯科汽车工厂等的研究工作证明, 用感应加热作零件表面淬火, 有可能显著地提高零件的耐久性, 同时减轻重量及提高强度, 并可能用普通碳素钢代替供应不足的合金钢。

本书主要阐明用高频表面淬火方法提高零件质量的一些基本问题。

在再版中原有内容有所修改, 并补充了新的章节: 生铁及合金钢的淬火, 钢的渗碳。

目 录

序言

緒論	1
1. 鋼和鑄鐵的組織	2
2. 鋼和鑄鐵的性能	10
3. 鋼的淬火	12
4. 感應加熱時的表面淬火	17
5. 感應加熱時碳鋼中組織轉變的特性	19
6. 表面淬火後碳鋼的組織和性能	23
7. 合金鋼的高頻淬火	26
8. 鋼零件的滲碳	29
9. 鑄鐵的淬火	31
10. 制件的表面強化	33
11. 殘余內應力	36
12. 應力和強度	40
13. 應力和變形	44

緒 論

感应加热正广泛用来为鋼及鑄铁制件表面加热以及为待鍛或待模压鋼坯穿透加热。近来,它还为制件作穿透热处理。

待鍛或待模压毛坯的穿透加热需时較久,所以,鋼在加热期間,有充分時間完成所应发生的全部組織变化。因此,鍛前的感应加热在这点上說来沒有任何特点。可以肯定,如鋼坯被加热到鍛造溫度,則鋼的組織也可适合于这道工序。仅在含多量碳化物的合金鋼制件作快速加热的罕有情况下,此种判断才可能不完全正确。

因此,毛坯穿透加热的规范,通常并不按鋼中組織的变化来决定,而只要考虑使整个截面获得均匀加热的最有利条件^①。只有在加热化学成分复杂的鋼料时,要考虑到組織的变化。但是,在这里难于作出一般的建議,必須针对个别情况,确定最少的允許加热時間。

作穿透淬火的制件,在感应加热时,加热速度也是比較慢的。但在許多情况下,已有必要創造保证优质淬火的加热条件。特別在加热工具鋼及滾珠軸承鋼时,此点更为重要。

按 B. П. 伏洛格金方法为待淬火鋼及鑄铁件作表面高频加热时,鋼中組織的轉变起着特別的作用,而应用快速加热(这是表面淬火的特征)有很多特点,对溫度规范的选择需要特別注意。这些特点对淬火层的质量起决定性的作用,在很大

^① 参閱 B. H. 包格丹諾夫著“穿透感应加热在工业上的应用”,本丛书第 12 册。

程度上也决定了被处理制件的性能。

除了在鋼加热和冷却时产生的組織轉變外，要特別注意淬火后制件产生的內应力与变形。在高頻表面淬火时，应力的分布情况是特別的，并可能相当大。現在还不可能十分精确地預先确定残余內应力的大小与表面淬火使用规范的关系，但已能几乎沒有錯誤地确定应力分布的特征及符号（拉伸或压缩）。

残余应力在决定淬火制件的性能时起着重要作用，因此，在选择淬火方法、淬火层形状及加热规范等时，应加以考虑。所产生的残余应力在很多情况下引起淬火制件的变形，特别是在局部淬火时。在規定淬火层的形状时，須經常注意使变形最小。性能优良的淬火制件，只有在同时具有良好的淬火层与合理分布的残余內应力时才能获得。

1. 鋼和鑄鐵的組織

含碳小于 2% 的铁基合金称为鋼。

可以用铁原子和碳原子的相互排列來說明鋼組織的特性，即所謂鋼的原子結構，它可用 X 光分析法測定之。

固态的鋼是由相互紧密結合的許多称为晶粒的小結晶粒子构成的。鋼的粒状組織能在断面上清楚地看出。在放大 100 倍和更多倍的显微镜下观察用特种試剂浸蝕过的磨片时，能看出晶粒的大小和形状。在显微镜下所看到的鋼組織称为微观組織。

如果不用显微镜而用肉眼观察特別浸蝕过的磨片，則可看到的是宏观組織，此种組織說明了在宏观範圍內的（即不用特別放大的）組織之不均匀性。

鋼的性能和断口特性由铁晶格內碳原子的分布情况及构

成微观和宏观組織的质点形状和大小而定。因为，铁是鋼的基本元素，鋼的結晶格乃按铁結晶格而构成。

純铁的原子結構在溫度改变时发生变化。

当溫度低于 910°C 时，铁結晶格呈立方形。晶格的晶胞是由位于立方体頂点的八个原子和在立方体中心的一个原子构成。

具有体心立方結晶格的铁称为 α -铁(图 1, a)。

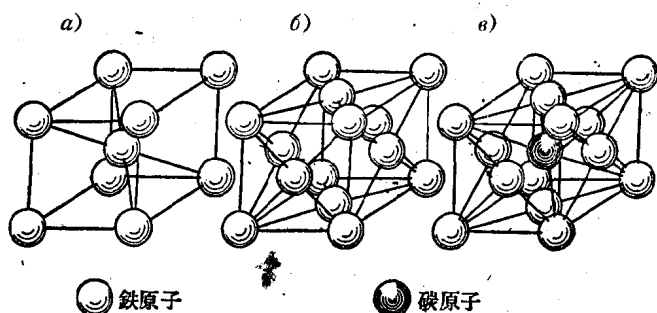


图 1 鋼的原子結構

α -体心立方: α -铁結晶格的晶胞, 是由在立方体頂点的八个原子和在立方体中心的一个原子构成; γ -面心立方: γ -铁結晶格的晶胞, 是由在立方体頂点的八个原子和在立方体每面中心的六个原子所构成; c-溶在 γ -铁內的碳原子位于立方晶格的中心(奥氏体組織)

溫度高于 910°C 时，結晶格也是立方体的。但結晶格晶胞的中心是空的，而在每面中心却有一个铁原子。

具有面心立方体結晶格的铁称为 γ -铁(图 1, b)。

由此， 910°C 是临界溫度，此时，发生再結晶，即是铁的結晶格由一种类型轉变为另一种类型。

結晶格的改建并不在鋼的全部体积中同时完成。其过程自晶界开始，首先发生带有新結晶格的晶核，此时新的晶核通

常比老的晶粒多。随着转变过程的发展，发生的晶核结合具有原始结晶组织的晶粒而增大，直到金属的全部体积具有新的结晶组织时为止。

因为新晶粒的数量比老的多，所以在再结晶过程中，晶粒变得更细。

α -铁转变为 γ -铁要吸收热量，因此，在加热过程中，当到达 910°C 时，温度不再上升，直到转变完成为止。在冷却时， γ -铁之转变为 α -铁亦在恒温下进行，因为这过程会析出热量。铁在转变类型时，金属比容随着改变，因为在 γ -铁的结晶格中原子分布较密。

除组织转变外，铁还发生磁性转变。在室温时， α -铁是铁磁性的，即能被磁铁吸引。此性质保持到加热至 768°C 为止，此时，磁性消失。该温度称为居里点。 γ -铁是非铁磁性的。

溶态钢在结晶时，碳原子进入由铁原子组成的基本晶格中。但是仅有一部分结晶格的晶胞被碳原子填满。其原因是在碳原子进入晶胞之一时，铁结晶格便生畸变，同时；畸变扩大到许多邻近晶胞上。碳原子渗入畸变的铁晶格晶胞中，是比较困难的。

碳原子在铁晶格内的分布是没有一定秩序的，它们能从一个晶胞移入（扩散）另一个晶胞内。在铁晶格中碳原子无秩序地分布的组织称为碳在铁中的固溶体。

碳在 α -铁中的固溶体称为纯铁体或 α -固溶体，而在 γ -铁中者则称为奥氏体或 γ -固溶体。

纯铁体能含有为数极少的碳：在室温时——可到 0.008% ；在 723°C 时，碳在 α -铁中的可溶性增加到 0.03% 。

碳溶于奥氏体中的数量远比溶于纯铁体中者为多，同时，

溫度愈高，能溶于奥氏体中的碳也愈多。在 1140°C 时，可以溶解 2.0% 的碳。在溫度降到 723°C 时，碳在 γ -铁中的极限溶解度自 2.0 降到 0.8%。

如果加到鋼中的碳比铁內能溶的碳多，过剩的碳原子便牢固地与铁原子結合在一起，形成了具有复杂結晶組織的碳化铁(Fe_3C)——渗碳体。

在室溫时，鋼通常由純铁体和渗碳体所組成，在显微鏡下观察微观組織时可区别出来。在高溫下，鋼由奥氏体組成，如果碳量超过它在 γ -铁內的溶解度时，則由奥氏体和渗碳体組成。

冷却时，鋼里从奥氏体中开始析出純铁体之溫度与含碳量有关。随着含碳量的增加，这个溫度成比例地由 910°C (对純铁言) 降到 723°C (当含碳量在 0.8% 时)。含碳量达 0.8% 的鋼，在冷却时，从奥氏体中开始析出純铁体之溫度称为临界溫度 A_1 ①。

这样，在冷却期間，当溫度为 723°C 时，在含碳量为 0.8% 的鋼中，同时发生两个过程：即 γ -铁轉变为 α -铁和从 γ -固溶体中析出过剩的碳，此过剩的碳在純铁体晶粒內形成了片状或圓粒状的渗碳体夹杂物。此过程称为共析轉变；碳濃度为 0.8% 的鋼称为共析鋼； 723°C 称为共析轉变溫度或临界溫度 A_1 。

由純铁体晶粒和橫貫于这些晶粒間的薄片状渗碳体組成的共析鋼組織称为片状珠光体(图 2)。用热处理能使片状渗

① 在加热和冷却时，在合金中(包括鋼)发生的轉变，以平衡图表示，可参看金相学讀本。在平衡图上指出了溫度的临界点，标以符号 A ，另附相应的下角标记。

碳体球化, 获得粒状珠光体。在含碳小于 0.8% 的鋼組織中, 除珠光体外, 还存在着游离純铁体。这种鋼称为亚共析鋼。

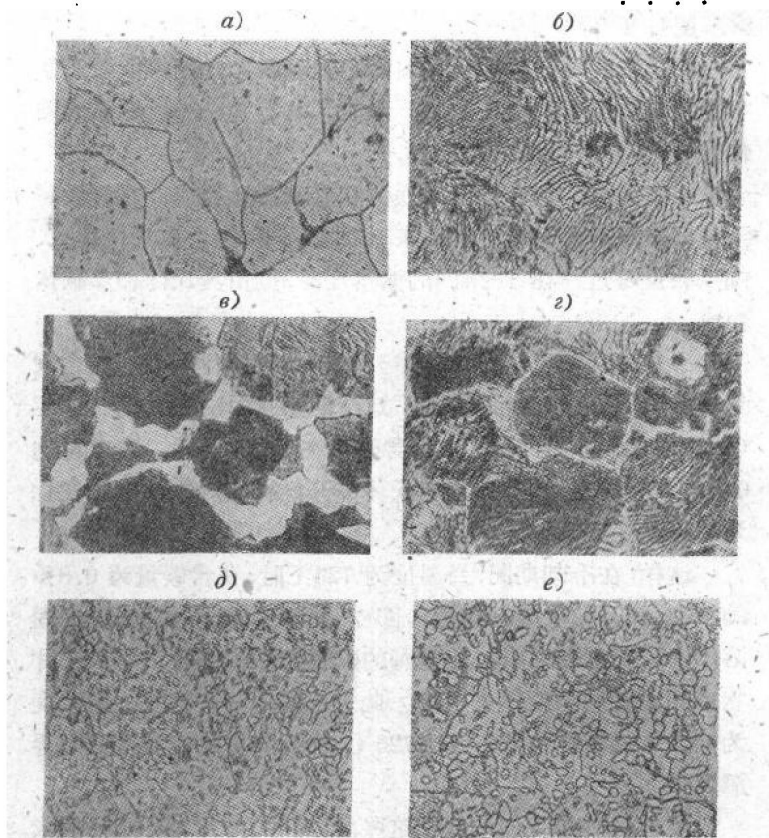


图 2 未淬火碳鋼的微观組織

a—純铁体, 具有均一晶粒的晶界; *b*—共析鋼, 含碳量 0.8%; 具有由純铁体和橫貫于純铁体晶粒間的片状渗碳体所构成的片状珠光体組織; *c*—含碳量小于 0.8% 的亚共析鋼組織; 由純铁体晶粒和珠光体組成; *d*—含碳量大于 0.8% 的过共析鋼組織, 由珠光体晶粒和位于珠光体晶界上的渗碳体組成; *e*—粒状珠光体; *e*—含碳量 1.2% 的鋼, 經退火成粒状渗碳体; $\times 240$

在含碳量大于 0.8% 的鋼組織中 (即过共析鋼), 除珠光体外, 还具有剩余渗碳体, 它成网状分布于珠光体的晶界上, 或以单独的球形夹杂物形式分布着。

按照鋼的加工条件 (热机械加工及热处理条件), 在含碳量相同时, 可以得到不同的微观組織。上述微观組織系在匀态退火时获得的。鋼料从具有奥氏体組織的加热状态随炉 (即鋼料加热用炉) 緩慢冷却的热处理工序, 称为退火。除获得匀态外, 退火还有其他目的。

为了形成粒状珠光体的退火, 其目的在于改变渗碳体夹杂物之形状, 使之成为球形。在冷却时使溫度长期維持在共析转变溫度上下就能达到目的。所得的組織如图 2, d 和 e。

为了形成細粒的退火, 是在鋼加热到奥氏体状态后, 随即加以相当快速的冷却。前已指出, 铁在再結晶时晶粒变細。这也就是鋼的成細粒退火工序的原理, 在这工序中, 溫度二次通过临界溫度 A_1 , 也就发生二次再結晶——加热时和冷却时。

在进行退火时, 須注意在高溫时奥氏体晶粒要增大: 一个晶粒联合其他的較小者而增大。因此, 如果在退火时, 將鋼加热到远远超过共析转变溫度, 則奥氏体晶粒能变得很大——远大于原始純铁体晶粒。鋼将受到过热。过热鋼在冷却后, 尽管在临界点时再結晶, 得到的是大的純铁体晶粒。强烈的过热使过析組織成分 (純铁体和渗碳体) 分布情况不同于一般, 这种純铁体和渗碳体成为长形析出物, 彼此間成一定角度横貫于珠光体晶粒間。組成結構作如此分布的組織称为魏氏組織。

过热鋼具有低冲击韌性, 可通过形成細粒的退火校正其組織。

鋼的成分中, 如有其他元素, 对鋼的組織也要发生影响。其中某些在鋼铁中几乎是不可避免的。它們是錳、硅、硫、磷及

氧。因此,这些称为正常杂质。硫、磷和氧是有害杂质,因为它们它们在鋼中形成了降低鋼的机械性能的结构組成物。这些杂质,在鋼中,每种不能大于 0.05%。在制鋼过程中,按工艺条件,在鋼中可加入錳和硅。硅含量不大于 0.3%,錳不大于 0.5%。这样的上述元素含量,对鋼的組織和性能不发生重要的影响。有时在鋼中加入大于規定标准的硅和錳,使鋼具有一定的性能。除此等元素外,还加入其他元素如鎳、鉻、鈦等。含有其他加入元素的鋼称为合金鋼。

在通常作为制造机器零件用的亚共析鋼中(結構鋼),加入合金元素,主要地是为了提高可淬硬性(見下面)。在高碳工具鋼中,則加入如鉻、錳、钒等元素。这些元素形成强而硬的碳化物,它們在热处理后部分地保持着,使鋼具有需要的性能。

表 1 示碳鋼和合金鋼的一般成分。

如上所述,鋼中碳量不超过 2%。当含碳量大时,得到鑄

表 1 各种牌号的碳鋼和合金鋼的成分

鋼 号	化 学 成 分 %		
	碳	錳	鉻
40	0.35~0.45	0.5~0.8	—
45	0.40~0.50	0.5~0.8	—
50	0.45~0.55	0.5~0.8	—
Y8	0.7~0.85	0.5~0.8	—
Y12	1.15~1.25	0.5~0.8	—
50Г	0.45~0.55	0.7~1.0	—
45Г2	0.40~0.50	1.4~1.8	—
40X	0.35~0.45	0.5~0.8	0.8~1.1
50XГ	0.45~0.55	0.7~1.0	0.9~1.2
35XГ2	0.30~0.40	1.6~1.9	0.4~0.7
IIIX15	0.95~1.10	0.2~0.4	1.3~1.65
XБГ	0.90~1.05	0.8~1.1	0.9~1.1
			鉻
			1.2~1.6
X12M	1.45~1.70	0.4~0.5	11.0~12.5
			鉻
			0.5~0.8

铁。如果鑄铁中的碳，全部形成了化合物——渗碳体，則此种鑄铁称为白鑄铁。它具有高硬度。

在一定鑄造条件下，一部分的碳能以石墨（即游离碳）形式析出，与铁原子沒有連系。这种鑄铁称为灰鑄铁。灰鑄铁的組織与鋼組織有很多相同之点。象鋼有各种微观組織一样，灰鑄铁的金属基体也可以不同，但鑄铁金属基体的晶粒有的地方被个别的鱗片状的石墨所分隔（图3）。具有純铁体及鱗片状石墨的微观組織者称为純铁体灰鑄铁，具有珠光体晶粒和石墨組織者称为珠光体灰鑄铁。如果鑄铁金属基体的組織相当于亚共析鋼組織，則鑄铁是珠光-純铁体的。

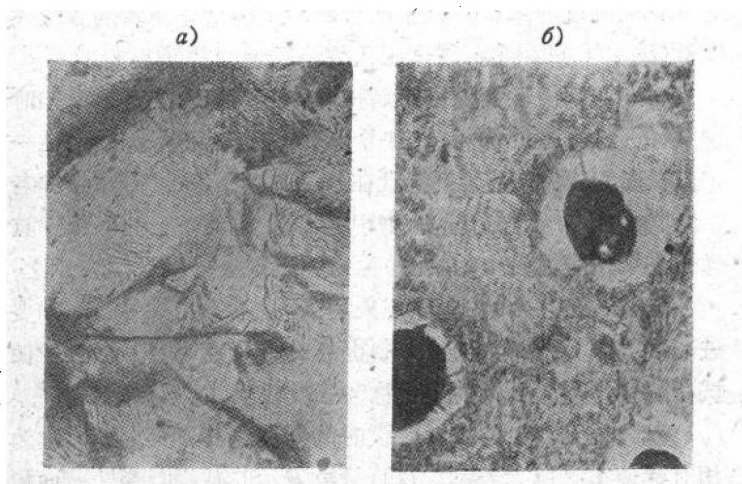


图 3 鑄铁的微观組織

a—珠光体灰鑄铁； b—含球形石墨的純铁-珠光
体鑄铁； $\times 320$

創造特殊的鑄造条件，能使石墨成为圓球形夹杂物。

含球形石墨的鑄铁，其机械性能高于普通灰鑄铁，因此，

它称为《高强度鑄鉄》^①。

白鑄鉄經长期退火也可使石墨成为圓形夹杂物。此时，得到可鍛鑄鉄，其性质也优于灰鑄鉄。

2. 鋼和鑄鉄的性能

鋼的质量决定于它的各种性能，其中主要是硬度、强度、塑性以及冲击韧性。

材料抵抗另一較硬物体侵入其内的性能称为硬度。硬度在仪器——硬度計上測定，它有各种类型：一类仪器是将鋼球压入被試驗金属的表面，另一类則用金剛石錐体。每种仪器有其自己的硬度单位。最常使用者，是以鋼球压入的布氏硬度計(H_B)，或以金剛石錐体压入的洛氏硬度計(H_{RC})。

强度与塑性能根据特制試样的断裂情况决定。拉伸时鋼試样开始作彈性伸长，即卸除負荷后能恢复原始尺寸。在一定負荷时，出現了残余延伸，且在这一負荷下，試样繼續延伸若干時間，此种現象称为屈服。出現残余延伸时的应力(即施于試样原来单位截面积上的負荷)称为屈服极限，并以 σ_T 表示之。

从某一時間开始，屈服現象消失，試样的延伸中止，如要进一步增加其长度，則又需要提高其負荷或应力。相当于使試样断裂的最大負荷的应力称为强度极限，以 σ_{op} 表示之。

以百分数表示的試样断裂时的伸长与其原长之比，称为相对延伸率，以 δ 表示。以百分数表示的試样断裂处截面积的减小与其原截面积之比，称为相对收縮率。它以 ψ 表示。

在冲击負荷时，消耗于試样断口上的功，称为冲击韧性，

① 为了得到球形石墨，当鑄造时在鑄鉄中常加少量鎂，因此它亦称为鎂鑄鉄。

以 α_k 表示, 单位为公斤米/平方厘米①。

純铁体之特性如下:

布氏硬度	$H_B = 80$
强度极限	$\sigma_{ep} = 30$ 公斤/毫米 ²
相对延伸率	$\delta = 45\%$
相对收缩率	$\psi = 75\%$
冲击韧性	$\alpha_k = 20$ 公斤米/厘米 ²

增加碳含量, 以及因此而鋼組織中出現滲碳体微粒, 显著地改变鋼的机械性能(图 4)。

滲碳体具有高的硬度和强度。伸入并橫貫于铁晶粒間之滲碳体, 使铁結晶格发生畸变, 且使它比較强硬而塑性减少。含碳量增加至 0.8%, 硬度提高到 $H_B = 180 \sim 200$, 强度极限到 $\sigma_{ep} = 70 \sim 75$ 公斤/毫米², 同时使相对延伸率降低 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$, 相对收缩率和冲击韧性也降低 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。

上述情况是具有图 2 中所示組織的非淬火鋼的特征。此种情况能随着許多因素而有所改变。例如, 由于鋼过热, 使純铁体晶粒增大,

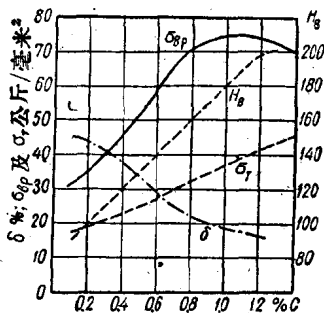


图 4 含碳量增加时, 鋼的强度增高和可塑性降低 (当含碳量很高时, 由于鋼的脆性增加致使强度降低)

σ_{ep} —强度极限; σ_T —屈服极限;
 δ —相对延伸率; H_B —硬度

① 关于鋼的性能可詳閱 Д. О. 斯拉文著“金属的性能”小册子, 国家技术出版社, 1952。

能使冲击韧性显著降低;珠光体中渗碳体夹杂物的变细,也能增高强度;鋼中合金元素的存在,通常能提高鋼的强度和韧性。

灰鑄铁和可鍛鑄铁的性能視其組織而定。分隔金属晶粒的片状石墨降低了强度和韧性,并使灰鑄铁变脆。具有球形石墨夹杂物的高强度的和可鍛的鑄铁比較不脆,但其机械性能則較低于鋼。

上述特性决定鋼和鑄铁作为材料的性能,但是常常不能完全决定制成制件后的鋼铁性能。

大部分机器制件是在反复交变的負荷下工作着,外部的应力反复地改变,时而为張应力,时而为压应力。在反复負荷的条件下,材料不能承受与强度极限相等的应力,制件也会在相当小的应力下損裂。这称为金属疲劳。

金属对疲劳的抗力称为疲劳强度。在无论多少循环下,制件仍不破裂的最大应力称为疲劳极限。在专门机器上测定疲劳极限时,試样須能在千万次循环中承受得住加上去的負荷。疲劳极限通常不超过拉伸强度极限的50~60%。

应当指出,复杂形状的制件在較小的負荷时,就能发生疲劳破裂,因为在这样的制件上外部負荷的应力分布得不均匀,当零件上的平均負荷还不大时,在应力集中的地方,已可能达到疲劳极限的数值。

耐疲劳强度首先决定于金属表面层的性能和制件表面的状态。金属表面层的性能可用热处理——特别是制件的淬火来改变。

3. 鋼 的 淬 火

鋼的淬火分为两道工序:(1)將鋼加热到具有奥氏体組