

# 钢的锻造温度范围

张如华

(南昌大学机电学院,南昌 330029)

**摘要** 简述了确定锻造温度范围的意义、方法,较详细地分析了始、终锻温度的内涵及其影响因素,指出了选用钢的锻造温度范围时应注意的几个问题,以促进节能挖潜。

**关键词** 温度,锻造,钢

**中图法分类号** TG 316.17

锻造温度范围是指合理的始锻温度与合理的终锻温度之间的一段温度区间。确定钢的锻造温度范围是常规热锻工艺设计的主要内容之一。现行的方法一般是查文献,但由于文献资料五花八门,致使查得的范围可能不利于保证锻件质量,或不能充分利用尚存的潜力。为了促进节能挖潜,本文试从应用的角度,提出了一些看法,以引起有关专家及同行的注意。

## 1 合理确定锻造温度范围的意义

合理确定锻造温度范围就是针对具体锻件,结合生产工艺选定始、终锻温度。其意义在于:1) 保证锻件获得良好的内部组织和机械性能,也就是使钢在变形时具有良好的塑性,不产生加工硬化及残余应力;锻后获得细小、均匀的晶粒组织。2) 减小变形力,减轻设备及模具受力。3) 缩短生产周期,提高生产效率。4) 节省能源,降低劳动强度。

以上几点也正是确定锻造温度范围的原则。其中 1) 是技术上可能的问题,2)~4) 是经济上合理性的问题,两方面具有辩证的关系。

## 2 确定钢的锻造温度范围的方法

### 2.1 理论系统研究方法

对于新研制的钢,手段齐备的研究机构确定钢的锻造温度范围的基本方法是,以状态图为基础,从钢的塑性、锻后质量、变形抗力 3 方面分别进行热模拟试验(如热扭转试验、自由锻粗试验、冲击试验等)和动、静态再结晶研究(如加工再结晶立体图试验、加热对钢晶粒影响试验等),得出对应的温度塑性图、再结晶立体图和抗力图等,然后综合地加以分析确定。一般还应通过实践应用来验证、修订。

因为一般合金结构钢和合金工具钢中合金元素含量较少,且分别固溶于铁素体、奥氏体或渗碳体中,所以合金元素仅对铁碳状态图的相变点和相变线的位置有影响,状态图形式并无明显的改变。因此,铁碳状态图可作为确定这些钢的锻造温度范围的基础依据。

高度合金化和冷却时无相变的合金仅靠状态图是不够的,还必须系统地作出塑性图、再结

晶图和变形抗力图,才能确定锻造温度范围.

### 2.2 实践应用

实践工作中,钢的锻造温度范围大部分在文献上有表可查,少数钢查不到,可以采用类比法经试锻后分析确定.

## 3 钢的始锻温度

### 3.1 选用最高加热温度

文献给出的始锻温度是指允许的最高加热温度,由于坯料出炉到开始锻造过程中有热量损失,真正开始锻造的温度稍低些.相反,由于加热必须依靠温度头,因此炉温比允许的加热温度高(一般结构钢高 50 ~ 100 ).

加热温度过高可能进入过热温度区,特别是多数含镍、铬的钢容易出现热处理无法改正的稳定过热,需要大的变形量才能消除其影响,这在多数情况下难以做到.为了避免过热,钢的最高加热温度必须低于过热温度(比过烧温度低得更多),文献 [1] 指出钢的始锻温度为

$$T_{始} (^\circ\text{K}) = (0.85 \sim 0.90) T_{熔} (^\circ\text{K})$$

式中:  $T_{熔}$  — 钢的熔点;  $^\circ\text{K}$  —  $+273$ .

影响始锻温度的因素大致有:

#### 1) 钢的化学成分

由于钢的熔点随含碳量升高而降低,因此碳钢的始锻温度也随含碳量的增加而降低(见图 1),其中 ~ 线为碳钢的始锻温度,它比固相线低 200 ~ 250 ,在含碳量 1.5 % 的范围内,可近似归纳为以下线性表达式:

$$T_{始} = 1300 - 1.8 C ( )$$

式中:  $C$  — 碳钢含碳量的万分数.

然而,对于纯铁的锻造,应避免 850 ~ 1150 这个红脆区.

合金钢的始锻温度通常随含碳量的增加而降低得更多,合金元素愈高,始锻温度愈低.

#### 2) 钢的组织状态

钢锭晶粒外面的晶壳(凝固过程中杂质及合金元素形成的化合物偏析)有阻止奥氏体晶粒长大的作用,使得铸态组织产生过热的倾向性较小,因此,其始锻温度可以比同钢号坯(轧)材高 20 ~ 50 (见图 1 ~ 线).当钢锭变形工序多,需要时间长,恰好可以利用这一温度差.

电炉钢较平炉钢具有更低的过热温度,因而,始锻温度不能偏高.较纯净的电渣重熔钢,过热敏感性相当高 [2].

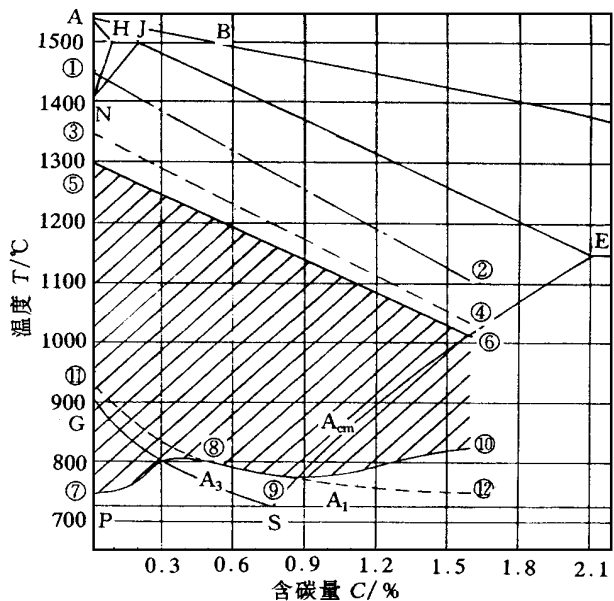


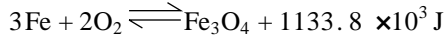
图 1 钢的锻造温度范围

3) 加热速度

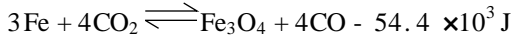
快速加热或感应加热时,由于奥氏体晶粒来不及粗化,钢在较高温度下才过热(见图 1 ~ 线,它比固相线低 100 ~ 150 ) ,因此始锻温度可高些(介于 ~ 与 ~ 之间) .

4) 加热炉内气氛<sup>[2]</sup>

钢在氧化性炉气(如焦炭炉)中加热时,温度愈高,氧化愈剧烈.钢氧化时的放热反应为



这样,可能使钢表面温度比炉温还要高.而在还原性气氛(如干燥的煤气炉)中,钢表面发生吸热反应:



这样,钢表面温度就比炉温低.

3.2 选用非最高加热温度

根据工艺需要,钢的始锻温度有时选用非最高值,这种情况下应考虑的因素有:

1) 变形速度

高速锤上锻造时,高速变形产生很大的热效应,会使坯料温度升高,以致引起过烧;加上高速成型时间短,为了保证终锻温度不致过高,其始锻温度应比文献列出的数值低 100 左右.

在其它设备上锻造也可能有热效应产生,也应注意这一倾向.

2) 变形工艺

对于大锻件,最后一火需要保证到达终锻温度时刚好完成全部锻造工作,因此,其始锻温度应根据剩余锻比确定(见图 2)<sup>[3]</sup> ,“宁低勿高”.对于工艺简单、变形时间短的中小锻件,也不选最高值<sup>[4]</sup>.

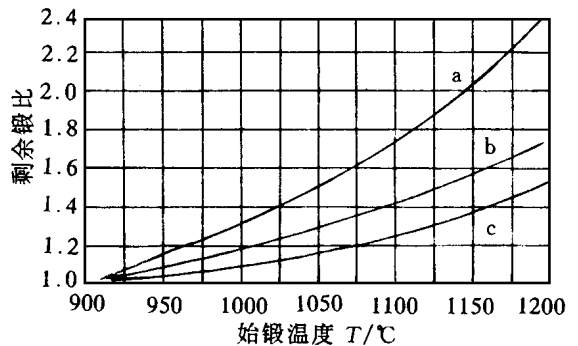


图 2 根据剩余锻比选用始锻温度

- a. 圆料拔长;
- b. 变形量较大的拔长及端部墩粗、扩孔;
- c. 芯棒拔长

4 钢的终锻温度

钢的终锻温度狭义上指常规的大变形热锻时应停止锻打的温度.根据停锻后对钢的组织影响不同,本人认为可以分为两类:A类指停锻的最低温度,应用时允许少量上偏差,否则,钢的变形抗力增大,塑性变差,易出现

裂纹;B类指随着温降,变形必须持续到的温度,主要用于冷却不相变的钢,应用时只允许少量下偏差,否则,将得到较粗大的晶粒组织,降低锻件性能.文献所列的就是狭义终锻温度,但未特别分类(B类有时标“ ”符号),应用时应注意.广义上的终锻温度除了狭义含义之外,还包括自由锻件精整、模锻件热切边、热校正时允许的最低温度等,后者较前者低 50 ~ 80 .

对于相变钢及部分不相变的钢(如奥氏体钢),终锻温度过低,不仅可能造成变形力剧增,设备负荷加大,模具受力恶化,还可能使锻件局部处于临界变形状态,造成锻后晶粒粗大,或由于加工硬化引起残余应力,诱发裂纹.所以,为保证锻件内部再结晶,钢的终锻温度要稍高于再结晶温度.文献[1]指出钢的终锻温度为

$$T_{终} (^{\circ}\text{K}) = (0.65 \sim 0.75) T_{熔} (^{\circ}\text{K})$$

影响终锻温度的因素大致有:

### 1) 钢的化学成分

#### 碳钢

) 亚共析钢分为二段:中碳钢应在  $A_3$  线以上 15~40 (图 1 ~ 线)终锻,若在  $A_3$  线以下两相区锻造,停锻后形成带状组织. 带状组织含碳量低、强度低,易沿夹杂物和铁素体的交界面产生裂纹. 反过来,中碳钢的终锻温度也不应比  $A_3$  线高太多,否则,奥氏体晶粒将再次长大,导致冷却到室温后得到粗晶组织. 如果终锻后的冷却速度快,形成魏氏组织(过热组织特征),机械性能变差,特别是冲击韧性降低.

钢含碳量低于 0.30%~0.25%时,可以在低于  $A_3$  线区(图 1 ~ 线以上)锻造. 因为低碳钢中的铁素体与奥氏体性能差异不大,特别是大锻件(热容量大,冷却速度慢),在低于  $A_3$  线温度终锻可得到比高于  $A_3$  线(图 1⑪~ 线)时较细的晶粒. 其中纯铁可在 650 终锻.

) 过共析钢应在  $A_1$  以上 40~100 终锻,而不应在  $A_{cm}$  以上终锻,否则,在随后的冷却过程中生成对性能不利的网状碳化物,而在奥氏体和渗碳体的两相区锻造,可使析出的渗碳体呈对性能有利的弥散状.

高碳钢只有在强烈的三向压应力作用下(模锻、型砧锻),其终锻温度才可接近  $A_1$  线(图 1 ~ ⑫线),否则易出现裂纹. 所以高碳钢的终锻温度一般应随含碳量的增加而逐渐提高(图 1 ~ 线).

#### 合金钢

合金成分愈高,终锻温度也愈高. 高合金钢种类繁多,情况比较复杂,其终锻温度一般较碳钢高得多(约 100 ),主要原因是随着温度的降低,变形抗力剧增,而塑性变坏.

由图 3<sup>[6]</sup>所示可见,45 钢在 800 终锻强度约为  $15 \times 9.8 \text{ MPa}$ ,同样强度的含镍、铬、钨的合金钢应在约 870 终锻.

不相变的奥氏体钢、铁素体钢等不能热处理细化晶粒,终锻温度应偏低,一般不允许上偏差.

### 2) 钢的组织状态

铸锭在还未完全转变为锻态组织之前,塑性较低,有些钢号的锭料终锻温度应比坯(轧)材高 30~50 .

### 3) 变形应力状态

如前所述,变形时的应力状态能影响钢的塑性,所以也能影响终锻温度.

### 4) 变形工艺

多火次锻造的中间工序一般都取较低的终锻温度,然后回炉加热. 若估计最后一火变形量不大,亦可提前回炉加热.

此外,锻后立即进行余热热处理的锻件,终锻温度应满足余热热处理要求.

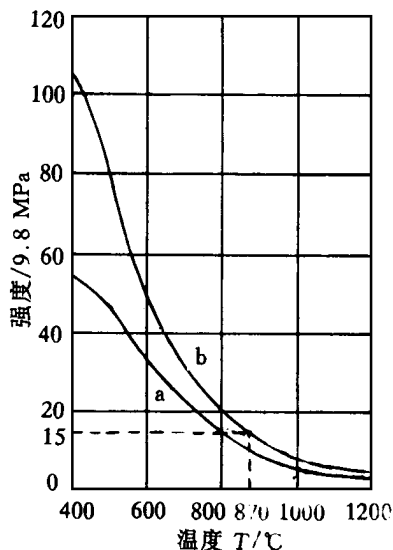


图 3 钢的高温强度  
a. 碳素钢(45);  
b. 含镍、铬、钨的合金钢

## 5 几个问题

在查文献选用钢的锻造温度范围时,应注意以下问题:

1) 部分钢号的温度值出入很大。不同的文献数据可能是在不同的实验条件下得到的,不可避免地存在一定的出入。实践中,由于钢本身的成份存在偏差、生产环境中控制不准确以及文献值存在保险系数等原因,温度偏差 20 以下无伤大局,但若偏差 30 以上,则可能给钢,尤其是锻造温度范围较窄的钢,带来不利的影 响。附表列出了一些钢(坯、轧材)的锻造温度范围的明显差异。虽然现场工艺人员可采取多查几种资料印证和试锻后再大批量生产的补救措施,但毕竟存在侥幸性,不可靠。建议权威部门消除这些差异,提高文献的指导意义。

2) 钢号不齐,与材料标准不统一。现有文献或多或少存在资料不齐的现象。作为新编的指导现场技术人员实践的工具手册<sup>[6]</sup>,材料部分已列出了新的标准资料,锻造温度没有与之相适应,因而未能保持统一性、完整性。

可锻的钢号可能有数千种,全部列齐相当困难,但将国家(部)标准所公布的钢号(约 320 种)资料汇齐,还是很有必要的。此外,对于一些已淘汰的钢号资料,为了继承历史,可适当地保留。

3) 常用工具书中表示锻造温度范围的铁碳合金状态图的相变线、点位置与金属学所用状态图<sup>[12]</sup>偏差太大,此图虽无具体应用意义,但若不说明,则可能引起混乱。

4) 钢锭的始锻温度理论上应比钢坯(含轧材)高些,文献上列出的数据大部分如此。但据初步统计,约有 1/5 的数据相反(不包括钢锭分别列出了“加热”、“始锻”,而钢坯只列“始锻”的形式中,钢坯“始锻”比钢锭“始锻”高的数据),似乎缺少一种解释。

5) 有些文献温度档次划分过粗,不能充分利用。在检测控制手段日臻精确的情况下,建议专业用书,特别是工具书划分精细一些。

6) 锻造温度范围表排列没有规律,查阅起来要花较多的时间,很不方便。建议按钢种、钢组、钢号归类排列。

以上问题作为个人意见不一定准确,但若不解决将不可避免地造成人力、物力(含能源)的浪费,影响锻造工业的发展。然而要使这些问题得到完满的解决,可能不是少数人在短期内能够完成的。

## 参 考 文 献

- [1] 西安交通大学. 锻造工艺学. 北京:机械工业出版社,1965. 20
- [2] 张菊水. 钢的过热与过烧. 上海:上海科学技术出版社,1984. 3~7
- [3] 上海交通大学等. 锻造工艺. 上海,1976. 57
- [4] 张元建. 按锻件材料合理确定始锻温度. 锻压技术,1986(6):55
- [5] 程秉恒. 中国大百科全书·机械工程. 上海:中国大百科全书出版社,1987. 157
- [6] 中国机械工程学会锻压学会. 锻压手册:第 1 卷:锻造. 北京:机械工业出版社,1993. 216~219,397,462,483
- [7] 《锻压技术手册》编委会. 锻压技术手册:上册. 北京:国防工业出版社,1989. 918~921
- [8] 陈诗荪. 合金钢锻造. 北京:国防工业出版社,1984. 16~24,54~58,88~91
- [9] 李尚健. 锻造工艺及模具设计资料. 北京:机械工业出版社,1991. 24~28

附表 锻造温度范围

单位:

钢种	文 献	[6]		[7]		[8]		[9]		[10]		[11]	
		T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>	T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>	T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>	T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>	T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>	T <sub>始</sub>	T <sub>终</sub>
优质 碳素 结构 钢	15	1250	800	1200	800			1300	700			1200 ~ 800 ~ 1230 850	
	45	1200	800	1200	800			1200	750			1180 ~ > 800 1200	
	60Mn	1100	800			1180	800	1100	800			1100 ~ 800 ~ 1150 850	
合 金 结 构 钢	40Mn2	1200	800			1180	830	1200	800	1200	> 800	1220	800
	35SiMn	1200	800			1230	800	1200	800	1220	> 850	1200	800
	20SiMnVB	1180	800							1180 ~ 1200	> 850	1180	850
	45Cr	1200	800			1180	830	1200	800	1170 ~ 1220	> 800	1200	800
	35CrMo	1150	850			1180	850					1150 1220	850
	25Cr2MoVA	1100	850			1180	850	1100	850	1200	850		
	40CrV(A)	1200	800	1180	850	1200	800	1200	800			1200	800
	15CrMn	1150	800			1230	850					1180	800
	20CrMnSi	1200	800			1160	830	1200	800	1220	800	1200	800
	20CrMnTi	1200	800	1200	800					1220 ~ 1240	900		
40CrNi	1150	850			1180	830	1150	820	1180	850			
20CrNi3	1180	850	1180	850	1160	800			1200	850			
弹簧钢	65Mn	1100	800			1180	800	1100	800	1100 ~ 800 ~ 1150 850		1100 ~ 800 ~ 1150 850	
	50CrVA	1150	850	1180	850	1180	800	1150	850	1180 ~ 850 ~ 1220 900		1080 ~ 850 ~ 1220 900	
轴承钢	GCr15	1080	800					1130	870	1050 ~ 800 ~ 1100 850		1050 ~ 800 ~ 1100 850	
碳素 工具钢	T12	1050	750					1050	870			1050 ~ 800 ~ 1100 750	
合 金 工 具 钢	5CrW2Si	1100	850					1100	850	1150 ~ 800 1180			
	Cr12	1080	840			1140 ~ 880 ~ 1160 920		1080	840	1120 ~ 880 ~ 1140 920			
	5CrMnMo	1100	800			1200	900	1100	800	1100 ~ 800 ~ 1150 850		1100 ~ 850 ~ 1150 800	
高速 工具钢	W12Cr4V4Mo	1050 ~ 900 ~ 1100 950				1130 ~ 850 1150				1180 ~ 950 1200			
不 锈 耐 酸 钢	3Cr13	1170	850 750	1170	850	1150 ~ 1180	900	1150	850	1160 ~ > 850 1200		1100 ~ > 850 1150	
	9Cr18	1120	880	1120	880					1170 ~ 950 1190		1050 ~ > 850 1100	
	1Cr21Ni5Ti	1180	850	1190	850					1050	800		
耐热钢	4Cr9Si2	1130	850					1120	850	1150	850 ~ 950	1100	900

注: 模锻; 文献 [6] 483 页; 文献 [6] 218 页.

- [10] 《合金钢钢种手册》编写组. 合金钢钢种手册:1~5 册. 北京:冶金工业出版社,1983
- [11] 冶金部钢铁研究总院. 合金钢手册:下册. 北京:中国工业出版社,1964;合金钢手册:上册. 北京:冶金工业出版社,1984
- [12] 虞觉奇等. 二元合金状态图集. 上海:上海科学技术出版社,1987. 243~246

## The Forging Temperature Range of Steel

Zhang Ruhua

(Mechanical and Electronic Engineering College, Nanchang University, Nanchang 330029)

**ABSTRACT** This article briefly states the significance and methods of defining the forging temperature range, analyses in great detail the meaning of the beginning and the ending of forging temperature and the factors which influence this temperature. Point out some considerable questions are pointed out when we select the forging temperature range of steel. Energy can be saved and the potential can be extended.

**KEY WORDS** temperature, forging, steel

科技动态

### 给水工程计算机监测系统水厂级优化调度

在给水工程中主要能耗是水泵电动机,整个水厂的电耗中,水泵电动机用电占 70%以上. 确立水厂二级泵站优化调度的数学模型、研究优化调度的计算机软件、开发计算机潜力,为降低电耗、节省能耗、实时控制水泵的运行、及时报告各种运行参数打下一个良好的应用基础.

70 年代国外就开始这方面的研究工作,如英国的 Fullside F 博士对城市供水系统进行了研制,将优化管理分为系统分析和仿真、负荷预报、优化调度等几个方面. 日本对城市供水系统,以管网中水压分布的均匀性为目标函数,不仅可以减少漏水量,而且可以减少在用水低峰时由于管压过高而引起的管道破裂现象. 我国目前的给水系统也趋于微机化,除北京水源九厂、南通狼山水厂、广州自来水公司引进国外先进技术外,其余采用的微机监测系统,其可靠性和国外同类产品相比差距甚远,而引进外国技术费用太高,因此,研制高可靠性的计算机监测系统是发展的必然趋势.

在提高计算机监测系统的可靠性基础上开展水厂二级泵站的优化调度,是注重经济效益和社会效益的重要环节,是提高水厂效率、实现水厂现代化管理的重要途径. 由南昌大学机电学院承担的《给水工程计算机监测系统水厂级优化调度》项目,深入研究供水系统的优化调度问题,使实际供水在尽可能接近要求值的情况下,达到电耗最低、配水电耗满足标准的要求,节约能源.

(科研处)