

锻 工 手 册

第 二 分 册

金属加热及其设备

锻 工 手 册 编 写 组 编

机 械 工 业 出 版 社

62
36

TG316-62

D 86

:2

C.1

锻 工 手 册

第 二 分 册

金属加热及其设备

锻工手册编写组编

机 械 工 业 出 版 社

锻工手册共分十篇。第一篇，锻造用原材料及其准备；第二篇，金属加热及其设备；第三篇，锻压设备；第四篇，自由锻造；第五篇，胎模锻、锤上模锻和高速锤上模锻；第六篇，各种压力机上模锻；第七篇，辊轧与旋转锻造；第八篇，锻件精整和热处理；第九篇，锻模的使用与制造要求；第十篇，锻工车间机械化装置与锻工安全技术。前五篇为上册，后五篇为下册，同时按篇出分册。

本分册为第二篇，内容包括金属加热温度范围确定，火焰加热炉、电加热及金属加热温度测量的基本方法。

本手册供从事锻压生产方面的工人及技术人员使用，也可供锻压专业教学及科研人员参考。

本分册是由一机部天津设计院、哈尔滨工业大学、天津大学、西安交通大学及广东工学院等单位共同编写的。

锻 工 手 册
第 二 分 册
金属加热及其设备
锻 工 手 册 编 写 组 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $6^{9/16}$ · 插页 2 · 字数 165 千字

1974年12月北京第一版·1974年12月北京第一次印刷

印数 00,001—53,000 · 定价 0.59 元

*

统一书号：15033·4226

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国锻造行业的广大工人、科技人员和干部，坚决贯彻执行党的“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”总路线，开展了轰轰烈烈的技术革新、技术革命的群众运动，促进了锻造生产技术的迅速发展。

为了总结交流经验，普及和提高锻造技术，我们根据锻造行业同志们的要求，组织编写了这本手册。

在手册中着重反映了我国锻造生产方面的经验，同时根据“**洋为中用**”的精神，也参考和吸收了部分国外资料。

本手册的读者对象，主要是锻造行业的生产工人和技术人员，也可供教学及科研人员参考。为了方便读者，既出分册又出合订本。

本手册由哈尔滨市科技局领导下的锻压技术交流三结合小组和哈尔滨工业大学锻压教研室主编。参加编写工作的单位主要有：洛阳东方红拖拉机厂、第一汽车制造厂、哈尔滨第一机器制造厂、哈尔滨林业机械厂、第一重型机器制造厂、齐齐哈尔钢厂、哈尔滨船舶修造厂、松江拖拉机厂、第二汽车制造厂、东安机械厂、伟建机器制造厂、哈尔滨铝加工厂、哈尔滨量具刃具厂、哈尔滨第一工具厂、上海工具厂、哈尔滨电表仪器厂、北京锅炉厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂、哈尔滨机车车辆厂、北京第一机床厂、一机部洛阳设计院、一机部天津设计院、济南铸锻机械研究所、东北重型机械学院、山东工学院、广东工学院、西北工业大学、上海交通大学、西安交通大学、北京工业大学、北京工业学院、吉林工业大学和重庆大学等。

参加手册审查的单位，除上述编写单位外，还有一机部机械研究院、一机部第一设计院、一机部机电研究所、上海机电设计

院、上海机械制造工艺研究所、常州锻造厂、北京锻件一厂、哈尔滨汽车齿轮厂、哈尔滨重型机器制造厂、哈尔滨第一电炉厂、松江电机厂、第二重型机器制造厂、太原重型机器制造厂、沈阳重型机器制造厂、呼和浩特汽车制造厂、哈尔滨拖拉机配件厂、冶金部钢铁研究院、冶金部情报研究所、清华大学和太原工学院等。

在编写过程中除上述参加编审的单位外，锻压机械编辑部、云南重型机器制造厂、太原矿山机械厂、洛阳轴承厂、哈尔滨轴承厂、营口锻压机床厂、辽阳锻压机床厂、兰州石油化工厂、北京内燃机总厂、上海彭浦机器厂、沪东造船厂、江南造船厂、南京汽车厂等全国各地一百多个单位积极热情地提供了技术资料。但限于编者的水平，难免有缺点和错误之处。恳切希望读者提出批评和修改意见，使它不断地得到充实和提高。

在本手册的编写过程中，哈尔滨市科技交流馆作了很多组织工作，哈尔滨重型机器制造厂、哈尔滨第二工具厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂和哈尔滨第一机器制造厂的同志为手册描图付出了辛勤劳动，在此一并表示衷心地感谢！

锻工手册编写组

目 次

第二篇 金属加热及其设备

第一章 金属加热	2-1
1 金属加热的目的及加热方法	2-1
一、加热目的	2-1
二、加热方法	2-1
2 金属加热时产生的缺陷及防止方法	2-3
一、氧化	2-3
二、脱碳	2-4
三、过烧	2-5
四、过热	2-5
五、内部裂纹	2-6
3 金属锻造温度范围的确定	2-6
4 金属加热规范	2-12
第二章 火焰加热炉	2-16
1 燃料及其燃烧装置	2-16
一、加热炉常用燃料特性及燃烧计算	2-16
二、燃料燃烧装置	2-30
1. 固体燃料燃烧装置	2-31
2. 燃油喷嘴	2-37
3. 常见煤气烧嘴	2-55
2 炉膛基本尺寸的确定及经验数据	2-60
一、经验指标法	2-60
二、经验比较法	2-62
三、火焰加热炉炉膛和燃烧室尺寸计算举例	2-63
3 管道及送风装置	2-64
一、炉前煤气管道	2-65
二、炉前重油管道	2-65
三、炉前空气管道	2-67
四、风机选择	2-68

4 排烟装置及余热利用	2-72
一、烟道	2-73
二、烟囱	2-74
三、余热利用	2-79
5 加热炉的砌筑	2-86
一、筑炉材料	2-86
二、砌体设计	2-88
三、加热炉常用砖的形状和尺寸	2-97
四、耐火混凝土介绍	2-97
6 炉型选择和结构介绍	2-99
一、对锻造加热炉的基本要求	2-99
二、炉型选择一般原则	2-99
三、现有加热炉的改进方法	2-101
四、中小型工厂常见锻造加热炉介绍	2-101
1. 手锻炉	2-101
2. 锻造无烟反射炉(煤炉)	2-103
3. 重油加热炉	2-106
4. 开隙式炉	2-110
5. 推杆式半连续式加热炉	2-111
6. 转底式加热炉	2-111
7. 煤气化锻造加热炉	2-114
五、其他加热炉举例	2-114
7 锻造加热炉使用和维护	2-119
一、烘炉	2-119
二、开炉与停炉	2-119
三、加热炉维护	2-122
四、常见故障分析	2-123
第三章 电加热	2-132
1 电阻炉	2-132
一、锻工车间常用电阻炉型号及选用	2-132
二、电热体	2-132
三、电阻炉的维护和使用	2-136
2 盐浴炉	2-138
3 接触电加热	2-142

一、接触电加热的基本原理及应用	2-142
二、触头材料、结构和夹紧压力	2-146
三、接触电加热计算	2-148
4 感应加热	2-154
一、感应加热的基本原理和应用	2-154
二、感应加热时电流频率和加热时间的确定	2-158
三、中频感应加热装置	2-163
四、感应加热装置计算要点	2-175
五、工频感应加热	2-175
第四章 金属加热温度测量的基本方法	2-180
1 目测金属加热温度	2-181
2 用热电高温计测量金属加热温度	2-182
一、热电偶	2-182
二、显示仪表	2-188
三、补偿导线	2-192
四、热电高温计测温时误差修正	2-192
3 用光学高温计测量金属加热温度	2-195
一、光学高温计测温原理和结构	2-196
二、光学高温计技术特性	2-196
三、光学高温计使用方法和维护	2-197
4 关于采用新温标的几点说明	2-202

第二篇 金属加热及其设备

第一章 金属加热

1 金属加热的目的及加热方法

一、加热目的

锻造前加热的目的是：提高金属的塑性，降低变形抗力，以利于金属的变形和获得良好的锻后组织。因此金属加热是热锻生产中不可缺少的和重要的工序之一。

二、加热方法

根据热源不同，在锻造生产中金属的加热方法可分为两大类：

1. 火焰炉加热。是利用燃料（煤、油、煤气等）燃烧所产生的热能直接加热金属的方法。由于燃料来源方便，炉子修造较容易、费用较低，加热的适应性强等等原因，所以便于普遍采用。缺点是劳动条件差、加热速度较慢、加热质量较难控制等等。

2. 电加热。是利用电能转换为热能来加热金属的方法。与火焰炉加热相比，它具有很多优点：升温快（如感应加热和接触加热），炉温易于控制（如电阻炉），氧化和脱碳少，劳动条件好，便于实现机械化和自动化。缺点是对毛坯尺寸形状变化的适应性不够强，设备结构复杂，投资费用较大。

常见的加热方法和加热设备的应用范围及特点如表2-1所列。

表2-1 常见加热设备的应用范围及特点

加 热 方 法 及 设 备 分 类		应 用 范 围			特 点	
		坯料形状 尺 寸	批 量	适用的工艺 方式举例		
火 焰 加 热	间 歇 装 料	手锻炉	各种形状中 小件	单件少量	手工锻, 修 锻	构造很简单, 加 热质量不容易控制
		室式炉	各种形状中 小件	单件或成批	中小型自由 锻	构造简单
		双室式炉	各种形状中 小件	单件或成批	中小型自由 锻	生产能力变化性 强, 适用于多次加 热和合金钢加热
		开隙式炉	中小型毛坯 加热及杆料端 部加热	成批	小型模锻、 胎模锻、手锻 及摩擦压力机 上模锻	构造简单, 不用 炉门
		双室开隙式 炉	中小型毛坯 加热及杆料端 部加热	成批	小型模锻、 胎模锻、手锻 及摩擦压力机 上模锻	适应生产能力变 化性强
		车底炉	中小型钢锭	单件小批	大型自由锻	炉底可进出运动
	连 续 装 料	敞焰无氧化 加热炉	中小件	成批	精密锻造	利用不完全燃烧 在炉膛下部形成保 护气氛
		半连续炉	中小型模锻 毛坯	大批	模锻	用机械化推料, 结构稍复杂, 有预 热、加热两段炉膛
		转壁炉	中小棒料端 部加热	大批	平锻、摩擦 压力机模锻	结构稍复杂
		盘形转底炉	中小型毛坯	成批大量	中小型模锻	结构较复杂, 可 机械化进、出料
		环形转底炉	大、中型模 锻毛坯	大批大量	大、中型模 锻	结构较复杂、可 机械化进出料, 炉 膛内有预热、加热 两段
		专用机械化 炉	中小件、长 杆料	大批	卷筒弯曲热 切下料等	结构复杂

(续)

加 热 方 法 及 设备 分 类		应 用 范 围			特 点
		坯料形状 尺 寸	批 量	适用的工艺 方式举例	
电 加 热	电阻炉	某些有色金属及合金钢中 小件	少量成批	自由锻、模 锻	结构较简单, 控 温精确, 升温慢, 单位电能消耗为: 0.5~1.0千瓦小时 /公斤
	盐浴炉	小件(或局 部)无氧化加 热	少量成批	自由锻、模 锻	结构简单, 单位 电能消耗为: 0.3 ~0.8千瓦小时/ 公斤
	接触加热	直径小于80 毫米棒料加热	大批大量	模锻、电锻、 卷簧、电热弯 曲及轧制等	结构简单, 加热 速度快, 耗电少, 单位电能消耗为: 0.3~0.45千瓦小 时/公斤, 很适用 于局部加热, 短毛 坯整体加热困难, 温度不均匀
	工频感应加 热	直径小于 150毫米的棒 料	大批	模锻、热冲 挤、轧制	不用变频设备, 耗电较少, 单位电 能消耗为0.35~ 0.55千瓦小时/ 公斤, 用电容器数 目较多
	中频感应加 热	直径 ϕ 20~ 160毫米的棒 料	大批大量	模锻、轧制、 热冲挤	结构复杂, 单位 电能消耗为: 0.4 ~0.55千瓦小时/ 公斤, 加热速度快, 自动化程度高
	高频感应加 热	直径小于20 毫米的棒料	大批大量	模锻、轧制、 热冲挤	结构复杂, 加热 速度快, 自动化程 度高, 只能加热小 件, 单位电能消耗 为: 0.6~0.7千瓦 小时/公斤

2 金属加热时产生的缺陷及防止方法

一、氧化

在高温下, 表面层金属与炉气中的氧化性气体 (O_2 、 CO_2 、

H_2O 及 SO_2) 进行化学反应生成氧化皮, 造成金属的烧损。氧化皮还加剧锻模的磨损, 降低模锻件的精度和光洁度。因此在精密锻造中最好采用少氧化和无氧化的加热方法。影响金属氧化的主要因素为: 金属成分、炉气成分、加热温度及加热时间。对于一般的火焰炉, 为了减少氧化皮, 在加热工艺上应采取如下措施:

1. 在保证加热质量前提下, 尽量采用快速加热, 缩短加热时间, 尤其是金属在高温下停留时间不宜过长, 应尽量用少装勤装的操作方法。

2. 在燃料完全燃烧的条件下, 尽可能减少过剩空气量, 以免炉内剩余氧气过多。并注意减少燃料中的水分。

3. 炉膛应保持不大的正压力, 防止冷空气吸入炉膛。

在锻工算料时必须算进烧损金属的重量, 它一般用坯料重量的百分比 (即烧损率 $\delta\%$) 表示。其数值和所用加热设备种类、加热规范和毛坯尺寸有关, 煤炉 (和油炉) 由于过剩空气较多, 烧损也较大。烧损率还和加热操作 (如风量的调节, 装炉毛坯数量等) 有很大关系。所以各工厂的实际烧损率也不同。表 2-2 可供参考。

表2-2 不同加热方法钢的烧损率

加 热 方 法	烧 损 率 $\delta\%$
室式煤炉	2.5~4
油 炉	2~3
煤 气 炉	1.5~2.5
电 阻 炉	1~1.5
接触加热和感应加热	<0.5

热坯料重复加热时, 每次的烧损率按表 2-2 中数值再增加 50%。对于空心件烧损率还应取得大些。

二、脱碳

在高温下钢料所含的碳分与炉气中的 H_2O 、 CO_2 、 O_2 、 H_2 等

进行化学反应，造成钢料表面层含碳量减少。如果脱碳层深度小于锻件加工余量，则对零件没有危害；如果脱碳层的深度超过锻件余量，则零件表面的硬度和强度降低，从而影响零件使用性能。所以重要锻件和精密锻造的锻件应注意防止脱碳。影响脱碳的因素主要也是加热温度、加热时间、炉气成分和金属成分等。为了减少脱碳，在加热操作上，应力求进行快速加热，特别是对容易脱碳的钢应避免在高温下长时间地加热，加热好后应尽快出炉锻打。

三、过烧

金属加热到接近熔点温度时，晶间低熔点物质开始熔化，由于炉气中的氧化性气体渗入晶粒边界，使晶间物质氧化，破坏了晶粒间的联系，一经锻打即破碎而成为废品，不能挽救，此种现象称为过烧。不仅是氧化性气体在高温下能渗入晶界形成氧化物而使材料变脆，就是熔点较钢低的铜也能在高温下从晶界渗入而削弱晶间的联系。例如有些工厂加热钢及加热铜用同一个加热炉，在加热铜材后，炉底如不清理，再加热钢材时，原先落入炉底的铜屑及表层剥落物熔化渗入钢材晶界，情况和“过烧”类似，锻时就破碎。所以有经验的工厂在加热钢材时，在铜材下面垫以薄钢板，加热完毕再抽出，不使铜屑等落入炉底。

四、过热

钢料在稍低于过烧温度的高温下长期保温时，会使晶粒过分长大，这种现象叫做过热。过热使金属在锻造时的塑性有些降低，更重要的是在锻造和热处理后，锻件的晶粒比较粗大，降低了钢的机械性能。为了纠正过热所造成的粗晶粒组织，对于已过热但尚未锻造者可用冷却后重新加热然后锻造的方法来挽救，若锻后发现粗晶组织，对于有些钢也可通过热处理的办法来细化晶粒。对于不能用热处理方法细化晶粒的合金钢（如高铬镍奥氏体钢）应特别防止过热。为了避免过热，必须控制加热温度和时间，如因锻压设备发生故障而长时间停锻时，必须降低炉温，或采取其他措施。

五、内部裂纹

钢锭加热时，钢锭表面和中心之间存在温度差，由于表面的热膨胀大于中心的膨胀，中心部分形成三相拉应力，这种由于温度不均而产生的应力叫温度应力。加热速度过快时温度应力很大，在温度应力和坯料中原有的残余应力共同作用下，就有可能产生内裂。为了防止内部裂纹，应制定和遵守正确的加热规范。

3 金属锻造温度范围的确定

锻造温度范围是指始锻温度和终锻温度间的一段温度间隔。在锻造温度范围内金属应具有良好的可锻性（足够的塑性、低的变形抗力等等）和合适的金相组织。为了减少火次，一般都力求扩大温度范围。锻造温度范围是通过各种试验和分析金相状态图的方法确定的。

始锻温度主要受到过热和过烧的限制，它一般应低于熔点 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

对于碳钢，由状态图（图 2-1）可看出，始锻温度应该随含碳量的增加而降低。对于合金钢，通常始锻温度随着含碳量的增加降低得更多。

钢锭由于液态凝固时得到的原始晶粒组织比较稳定，过热的倾向较小，因此钢锭的始锻温度可比同钢种的钢坯和钢材高 $20\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

终锻温度主要应保证在结束锻造之前金属还具有足够的塑性以及锻件在锻后获得再结晶组织，但过高的终锻温度也会使锻件在冷却过程中晶粒继续长大。因而降低了机械性能，尤其是冲击韧性。

钢料在高温单相区（例如图 2-1 所示 GSE 线以上的奥氏体区）具有良好的塑性。对于亚共析钢一般应在 A_3 以上 $15\sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右锻造，但对于低碳钢（ $C < 0.3\%$ ）通过试验可知，在 GS 线

(A_3) 以下的两相区 ($\gamma + \alpha$) 也有足够的塑性, 因此终锻温度可在 GS 线以下。对于过共析钢温度降至 SE 线 (A_{cm}) 以下即开始析出二次碳化物, 且沿晶界呈网状分布, 为了打碎网状渗碳体, 在 A_{cm} 以下还应继续锻打。但温度进一步下降则因塑性

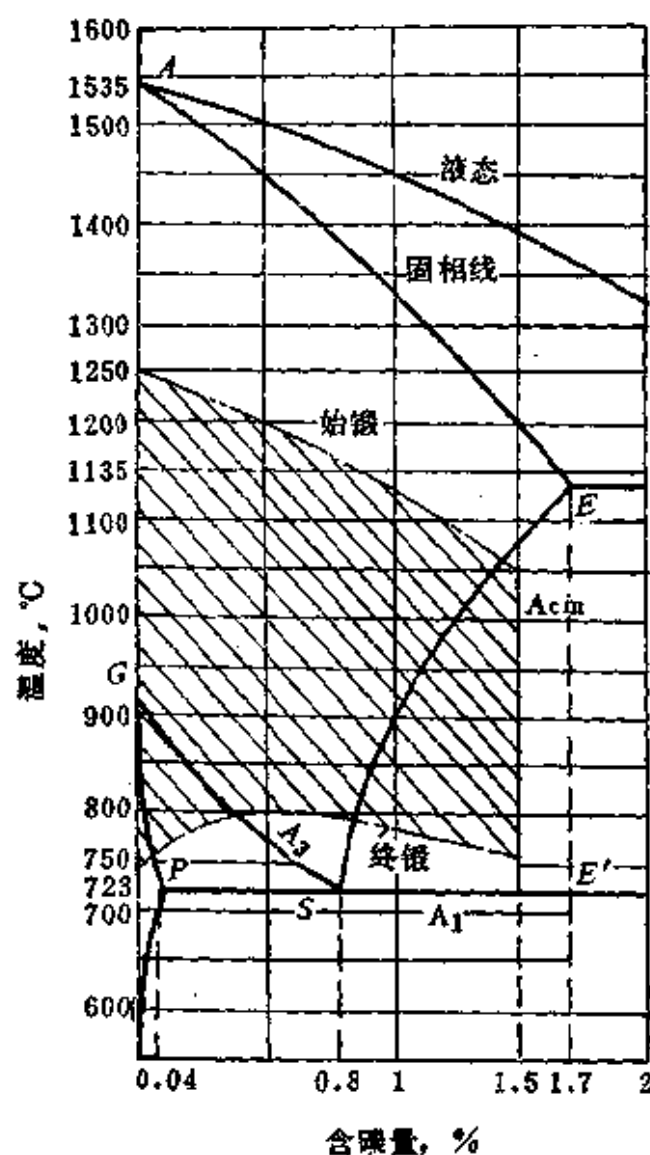


图 2-1

显著降低而必须终止锻造。过共析钢的终锻温度一般应高于 A_1 (SE' 线) $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 以上

对于冷却时不产生重结晶转变的钢种 (例如奥氏体钢、铁素体钢), 由于不能用热处理方法细化晶粒, 所以必须严格控制终

锻温度，终锻温度不能过高。

精整工序时，终锻温度允许比规定值低 $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ （参看图 2-1）。

对于锻件的机械性能有特殊要求时，例如奥氏体护环钢要求通过变形硬化来提高强度指标，通常采用半热锻及冷锻，半热锻温度范围的确定见本书第四篇第四章高锰钢护环锻造一节。

由于生产条件的不同，各工厂所用的锻造温度范围也不完全相同。钢料的锻造温度范围见表 2-3。有色金属的锻造温度范围可参考表 2-4。

表2-3 钢的锻造温度范围

钢 类	钢 号	锻造温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
		始 锻	终 锻
普 通 碳素钢	A0、A1、A2	1300	700
	A3、A4、A5	1250	700
	A6、A7	1200	750
优 质 碳素钢	08F、08、10F、10、15F、15、20F、20、25、30、 35、15Mn、20Mn、30Mn	1250	800
	40、45、50、55、60、40Mn、45Mn、50Mn	1200	800
合 金 结 构 钢	10Mn2、15Mn2、20Mn2、30Mn2、35Mn2 40Mn2、45Mn2、50Mn2、27SiMn、35SiMn	1200	800
	42SiMn	1150	800
	20MnV、35SiMn2MoV	1200	800
	25Mn2V、42Mn2V、30SiMn2MoV	1180	800
	30Mn2MoW	1150	850
	12SiMn2WV	1180	850
	15SiMn3MoWV	1200	900
	37SiMn2MoWV	1170	800
	20Mn2B、20MnTiB	1200	800
	25MnTiB、20Mn2TiB、20MnVB	1200	850
	20SiMnVB	1180	800
	30Mn2MoTiB	1100	850
	40B、45B、40MnB、45MnB、40MnVB、40MnWB 38CrSi、40CrSi	1150	850

(续)

钢 类	钢 号	锻造温度(°C)	
		始 锻	终 锻
合 金 结 构 钢	15CrMn、20CrMn、40CrMn	1150	800
	20CrMnSi、25CrMnSi	1200	800
	30CrMnSi、35CrMnSi	1150	850
	15CrMn2SiMo	1200	900
	20CrV、16Mo	1250	800
	40CrV、45CrV、18CrMnTi、20CrMnTi、30CrMnTi、 35CrMnTi、40CrMnTi	1200	800
	12CrMo、15CrMo、20CrMo	1200	800
	30CrMo	1180	800
	35CrMo、42CrMo	1150	850
	15CrMnMo、20CrMnMo	1200	900
	40CrMnMo	1180	850
	12CrMoV、24CrMoV、25Cr2MoV、25Cr2Mo1V	1100	850
	12Cr1MoV、35CrMoV	1150	850
	38CrMoAl	1180	850
	18Cr3MoWV、20Cr3MoWV	1150	850
	15Cr、20Cr、30Cr、35Cr、40Cr、45Cr、50Cr	1200	800
	20CrNi	1200	800
	40CrNi、45CrNi	1150	850
	12CrNi2、12CrNi3	1200	800
	20CrNi3、37CrNi3、12Cr2Ni4、20Cr2Ni4	1180	850
合 金 工 具 钢	40CrNiMo	1150	850
	18Cr2Ni4W	1180	850
合 金 工 具 钢	20NiMo	1230	830
	40NiMo	1150	900
合 金 工 具 钢	T7、T7A、T8、T8A	1150	800
	T9、T9A、T10、T10A	1100	770
	T11、T11A、T12、T12A、T13、T13A	1050	750
合 金 工 具 钢	9Mn2、9Mn2V、MnSi、6MnSiV、5SiMnMoV 9SiCr、SiCr、Cr2	1100	800
	Cr、Cr06、8Cr	1050	850
	Cr12	1080	840