高速工具钢感应加热淬火及应用

■ 赵步青，胡会峰，张日发

摘要：从感应淬火金属学问题入手，透视高速钢工具种种快速加热现象。简介嘉龙锋钢刀具公司高速工具钢制机械刀片感应淬火实例，节能高效，刀具寿命高。

关键词：高速工具钢；刀片；感应淬火；应用实例

1. 感应淬火的金属学问题

（1）快速加热临界点升高　感应加热的升温速度从每秒几十度到几百度，脉冲淬火更达到每秒数千度（2000～3000℃/s），由于加热速度快，持续时间短，因此淬火温度比一般盐浴淬火温度要高，才能使组织转变为奥氏体化，表1为T10钢与GCr15钢快速加热时Ac_1点随加热速度的加快而升高的有关数据。

从实践中我们了解到，感应加热的淬火温度比常规淬火提高80～150℃，表2为常用钢高频感应淬火推荐的加热温度。

感应加热的比功率远比炉内加热大，因此加热速度快，从而促使珠光体向奥氏体转变开始和完成的温度升高所需的时间短。

钢的原始组织对快速加热时奥氏体的形核、长大及均匀化过程都有很大影响，因而也显著影响感应淬火温度及淬火后的组织与性能。图1为各种原始组织的T8钢临界点与加热速度的关系[1]。片状珠光体较球状珠光体易于完成加热时的组织转变过程，因此同一钢号不同原始组织感应淬火温度$t_{淬}$必然是：$t_{淬}$（退火态）＞$t_{淬}$（正火态）＞$t_{淬}$[调质（退火+高温回火）]。图中a_0的物理意义：对珠光体，它表示相邻两个渗碳体间距离的一半；对自由铁素体，它表示位错网节点距离的一半。

快速加热时，Ac_3点也随着加热温度的升高而升高，图2示出了亚共析钢在不同的加热速度下得到完全淬火所需的温度。

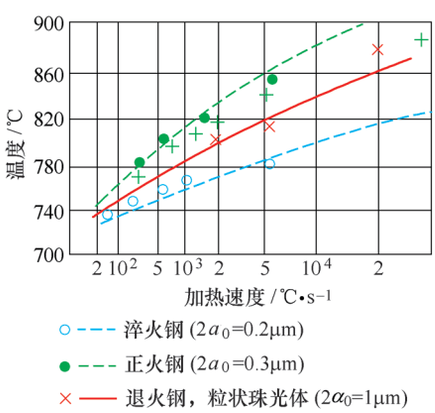

图1　不同原始组织的T8钢临界点与加热速度的关系

表1　感应加热速度与临界点Ac_1的关系

钢号	加热速度/℃·s⁻¹						
	原始状态	10	50	100	150	200	300
T10	退火	745	760	765	760	765	765
	淬火	735	745	755	755	760	765
GCr15	退火	770	810	825	830	835	830
	淬火	740	750	785	800	815	810

表2　常用钢高频感应淬火加热温度

钢号	加热温度/℃	钢号	加热温度/℃
45	860～920	T10、T10A	850～960
50	860～900	GCr15	920～1020
40Cr	940～980	GCr9	900～1000
T7、T7A	880～960	CrWMn	850～960
T8、T8A	860～960	9SiCr	880～1000

（2）快速加热能使钢获得细的晶粒或超细晶粒　在加热速度较低的范围内，随着加热速度的增大，刚完成奥氏体化所形成的奥氏体起始晶粒显著减小，但在加热速度很高时，奥氏体起始晶粒几乎不再随加热速度的增加而减小。实践证明，在感应加热条件下，加热速度极高，所得的起始晶粒极为细小且与加热速度无关。但是，已形成的奥氏体晶粒的长大却与加热速度有关。当继续加热到某一温度时，加热速度越小，所形成的实际奥氏体晶粒越大，如图3所示[2]，所以只要加热温度与加热时间控制得当，感应加热是不会产生过热的。

2. 高速工具钢快速加热各种现象

（1）高速工具钢刀片快速加热　早在1923～1924年，前苏联沃洛格金就开始研究高速工具钢刀具高频感应淬火，可惜没有成功[3]。没有成功的原因认为高速钢制工具必须完全被淬透，或者所得的高热硬性和高强度的淬硬层较厚才行，同时也担心高频感应淬火碳化物溶解不良影响其他性能，并没有将感应淬火深入研究下去。直至1952年才有所突破，格德别尔格等终于对尺寸为3～10mm的W18Cr4V（P18）刀片淬火成功，遗憾的是没有走向工业化生产，但足以说明，高速工具钢刀具是可以感应加热淬火的。

（2）高速工具钢焊件的快速加热　高速工具钢锥柄钻、立铣刀等杆状刀具，不论是闪光焊还是摩擦焊，都是快速加热的典范，在几秒钟内就能将钢件加热到1000℃以上。

（3）高速工具钢锻件的快速加热　笔者提倡ϕ60mm高速工具钢坯料直接入高温区加热[4]，即冷料不经预热，直接入1150～1200℃区。投入生产多年，锻造质量稳定。

（4）高速工具钢刀具淬火参量公式的运用　在高速工具钢工具热处理时存在一个淬火参量公式，即

$$P=t(37+\lg\tau)$$ [5]

式中 P——淬火参量；

t——淬火加热温度；

τ——淬火加热时间。

P代表了淬火加热温度和加热时间的综合作用。在淬火过程，无论淬火加热温度和加热时间怎样变化，只要两者作用的结果即淬火参量相同，那么奥氏体化的程度就应该是相当的。意思是说高温短时间（快速加热）和低温长时间，只要P相同，刀具淬火的质量就是一样的。

（5）高速工具钢刀具炉内快速加热和半快速加热　20世纪50年代末，在苏联热处理专家的帮助下，北京、天津、上海等地，曾推广热处理快速加热节能新技术，取得了不少成功经验，可惜留下的资料不多，笔者手上只有上海工具厂W18Cr4V钢制ϕ14mm锥柄钻、槽铣刀快速加热的资料[6]。报道说将W18Cr4V钢的淬火加热温度由常规的1270～1280℃提高到1300～1310℃，加热系数由原10～12s/mm缩短到5～6s/mm，刀具寿命不降反而略有提高。

（6）激光、电子束等高能量密度对高速工具钢刀具表面改性　近几年不断有报道激光等对高速工具钢表面改性的文章[7]，指出高速工具钢完全可以实施快速加热。该技术方法是将高能量密度的等离子体高速作用在M42钢表面，使材料表面出现局部的快速升温和快速冷却，升温和冷却的速度可达到10^4～10^8K/s，因此可在工件表面形成晶结构改性层，达到提高材料性能的目的。

（7）高速工具钢快速加热由来已久　高速工具钢问世100多年来，人们对其热处理工艺创新改革从未停止过。前苏联曾有人狂言，对钢来说能够以任何速度加热。限于当时的条件，只局限在盐浴炉和高频感应加热，并且淬火件都是不能再简单的棒或片，不具备普遍性。高速工具钢锻造坯料的快速加热应用比较成功，大部分人认为：经过压力加工和退火后的高速钢材料，在改

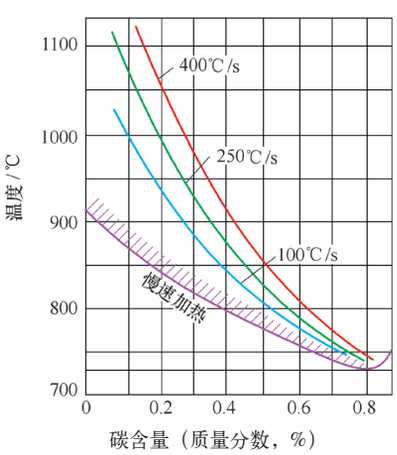

图 2

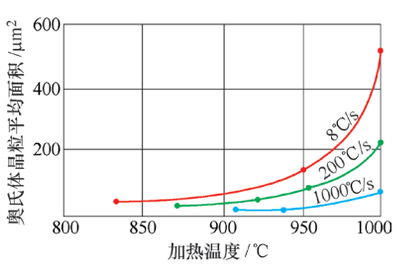

图 3

锻前的加热，其加热速度是可以不受限制的[8]。当激光、电子束等新技术新工艺的出现，屡见有高速工具钢快速加热表面改性成果的报道，表明高速工具钢快速加热已进入实质性的应用阶段。

3. 感应加热淬火在高速工具钢机械刀片中的应用

高速工具钢的淬透性很好，在空气中也能淬上火，因此叫“风钢”，其淬硬性也好，在空气中也能淬到64HRC以上，磨出很锋利的刃口，故也称“锋钢”。高速工具钢感应加热淬火属自冷式淬火，节能环保，生产效率高。

不管什么钢淬火必备两个基本条件：第一是必须奥氏化，第二是立即快冷，冷却速度应大于钢的临界冷却速度（$v_{临}$）。感应加热的特点只是工件表面被加热，如果表层奥氏体化后立即停止加热，而邻近未被加热的金属能迅速地将加热层的热导走，并且其冷却速度＞$v_{临}$，则表面就被淬硬了。其不是靠表面喷淬火液快冷，而是由内部的冷金属来冷却，这种特殊的淬火工艺只有在高能密度加热状态下才能实现。感应加热是高能密度加热方法之一。由于功率密度极大，加热时间极短，因此也称脉冲加热。

感应加热的温度可用红外线光电高温计或光学高温计测量，也可以用目测（根据加热工件的颜色），判断淬火加热温度。

感应加热时涡流在工件上产生的热量主要用在加热所需的表面层，但是在此过程中还有两种热量从工件上散发，第一种是从加热表面向空气中散发称之为辐射热；第二种是从工件加热层向心部传导的，称之为传导热。这两种热损耗，特别是向内热传导的作用，加深了理论上的加热层深度，可以用$d_{深}=0.2\sqrt{t}$（mm），式中t为加热时间（s）。随着功率密度的降低与加热时间的延长，损耗增加。如果工件比较薄，热传导很快就会从表面传到心部，整个截面都热透了，高速钢属自硬性材料，加热停止马上就淬硬了。

嘉龙公司从2014年开始，高频感应加热试淬厚度≤6mm的刀片，投放市场，客户反映很耐用，比原保护气氛整体淬件寿命提高一倍以上，增强了我们扩大生产的信心。为适应市场需求，对厚刀片需求量增大，2015年我们又引进了超音频技术（见图4），现已投入批量生产。淬火机床也是自制的，现在能淬厚度12mm的机械刀片。M2钢淬火晶粒度及回火后金相组织如图5、图6所示。

图4 超音频淬火机床

图5 M2钢淬火金相（500×）

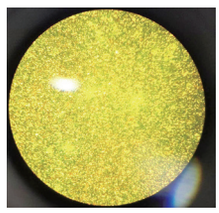

图6 M2钢回火金相（500×）

参考文献

[1] 沈庆通，黄志. 感应热处理技术300问[M]. 北京：机械工业出版社，2013.

[2] 浙江大学等. 钢铁材料及其热处理工艺[M].上海：上海科学技术出版社，1978.

[3] 列尔.工具钢[M].卢湘，译.北京：冶金工业出版社，1959.

[4] 赵步青.高速钢锻件可以快速加热[J].机械工人(热加工)，1987（11）：25～27.

[5] 中国机械工程学会热处理学会.热处理手册第二卷[M].第4版（修订本）北京：机械工业出版社，2013.

[6] 上海工具厂.高速钢刀具的快速加热[J].技术革新资料，1960.

[7] 廖先金，陆磊，等.脉冲爆炸—等离子体处理M42高速钢的表面改性[J].金属热处理，2015（12）：166～169.

[8] 喻世禄. 高速钢和高速钢锻造[M]·北京：国防工业出版社，1989.

作者简介：赵步青，高级工程师，现任安徽嘉龙锋钢刀具公司技术顾问，中国特钢学会高速钢学术委员会委员，主要从事工模具钢热处理技术工作，已发表论文240余篇，出版热处理专著4部，参编图书两部。

胡会峰、张日发，安徽嘉龙锋钢刀具有限公司。

MW 20160528