

高速钢热处理问题 23 问（上）

[摘要] 高速钢是重要的金属切削刀具材料，热处理问题颇多，罗列 23 问共赏。

[关键词] 高速钢 热处理 硬度 二次硬化

✎ 安徽嘉龙锋钢刀具有限公司 赵步青

纵观现在世界上所有的钢种，无论其化学成分、组织、性能之间的复杂关系，还是冶炼、浇注、锻造、轧制、拉丝、塑性成形、焊接和热处理等整个制造过程的难度，高速钢无疑是最难搞的钢种之一。高速钢自问世至今已有 100 多年历史，一直以制造金属切削刀具著称。有人说“高速钢奥妙无穷”，也有人说“高速钢变化莫测”。长期以来，人们对高速钢进行了大量的基础研究和改革创新，丰富了热处理宝库。笔者 1968 年大学毕业后，从事高速钢热处理整整 50 个春秋，积累了不少经验，也记录了一些失败的教训，总结出高速钢热处理值得关注的 23 个问题，与读者探讨。

1 碳在高速钢中作用是什么？

碳是高速钢中最重要的元素，作用机制是碳化物的形成及转变——溶解、析出、聚集。含量必须适当，不可过多，也不能太少。当含量较低时，不能形成足够数量的复合碳化物，因而在淬火加热时溶入固溶体的碳化物减少，会降低钢的硬度、红硬性及耐磨性；若含碳量高，淬火加热时，碳和合金元素的浓度增高，使钢的硬度、红硬性提高，但也带来一些不利影响：在碳化物不均匀度增大、塑性降低脆性增加、工艺性能变坏（锻造、轧制易开裂）、降低钢的熔点，所以容易产生过热过烧。含碳

量增高，会使淬火后残留奥氏体（ r_R ）增多，增加回火难度。以前的 M35 钢因含碳量偏低（0.80%~0.90%），淬回火后根本达不到 67HRC 以上的高硬度；501 钢（M2A1）因含碳量偏高，问题不少，现在两钢都回归到正常的含碳量了。GB/T9943 新标准和原标准相比，最大的亮点莫过于碳的变化。

高速钢中究竟含多少碳好？应遵循定比碳法则确定。钢厂生产的高速钢成分虽都符合国家标准，但不一定适合你。工具厂应根据自家的产品，选择有竞争力适中的含碳量钢种。

2 高速钢的碳饱和度如何计算？

平衡碳是给出钢中所有的碳化物形成元素，按定比碳关系达到平衡时的碳含量，通常按下式进行近似地计算。

$$C_s = 0.33W + 0.063Mo + 0.06Cr + 0.2V$$

式中， C_s 是理论上计算的“平衡碳”，“平衡碳差值”表示计算出来的 C_s 与实际含碳量的差值，即 $C = C_s - C_{实}$

$C_{实} / C_s$ 的比值即为碳饱和度，常用“A”来表示。

例如：M2 钢的实际化学成分为（质量分数：%）：0.85C、5.97W、4.95Mo、3.97 Cr、1.82V。平衡碳、平衡碳差值、碳饱和度计算式分别为：

$$\text{平衡碳} (C_s) = 0.033 \times 5.97 + 0.063 \times 4.95 + 0.06 \times 3.97 + 0.2 \times 1.82 = 1.103$$

$$\text{平衡碳差值} (C) = 1.103 - 0.85 = 0.253$$

$$\text{碳饱和度} (A) = 0.85 / 1.103 = 0.771$$

统计分析 M2 钢 267 个炉号 340t 含碳量，并热处理试验 A 值对钢性能的影响，结论是：A 值在 0.76~0.83 时，综合性能佳。

3 碳饱和度与淬火温度及热处理后硬度的关系？

在正常的淬火温度范围内，每提高 11 ~ 13 °C，晶粒度就升高 1 级，如果按 9.5 ~ 10.5 级晶粒度组织生产，对于 M2 钢淬火温度（t）与 A 值

有一定的对应关系，笔者的经验是：

A=0.70 t=1227~1238

A=0.73 t=1222~1233

A=0.76 t=1218~1231

A=0.79 t=1212~1223

A=0.82 t=1210~1221

A 值越高，淬火温度越低，反之亦然，根据 A 值确定淬火温度是科学的，行之有效的，已被国内同行认可。

知道了 A 值，就能准确地预测淬回火后的硬度，经验式为：

对于 M2 钢而言： $HRC=A/(0.1285A+0.00185)$
例如 M2 钢 A 值为 0.77，则 $HRC=0.77/(0.1285 \times 0.77+0.00185)=0.77/0.0117445=65.6$ 。实际生产中的刀具硬度在 65~66HRC，非常吻合，要想硬度高，必须选择 A 值高的钢制作。

4 高速钢刀具淬火为什么要预热？

高速钢属高合金工具钢，含有众多的合金元素，导热性差、塑性低，所以高速钢淬火必须经过预热，有四大好处。

(1) 减少应力及变形开裂的几率。

(2) 缩短高温加热时间，减少氧化、脱碳倾向。

(3) 先在空气炉中预热再到盐浴炉预热，避免发生爆炸危险，有利于安全生产。

(4) 中温预热一般在 850 左右，使珠光体向奥氏体转变在较低温度下进行，有利于减少最后相变应力。

5 高速钢碳化物不均匀度级别判定标准是什么？

严重的碳化物不均匀度将使钢的硬度及红硬性下降，若呈网状堆积，破坏了钢组织的连续性，导致刀具在使用过程中易脆断或崩刀。高速钢碳化物不均匀在 $\times 100$ 倍显微镜下观察。GB/T9943-2008《高速工具钢》将共晶碳化物分为 8 级，诠释如下，供参考。见表 1。

表 1 高速钢碳化物不均匀度级别

	标准细则
1	碳化物分布均匀
2	碳化物呈微细状
3	带系——细带宽约 2mm，网系——细网中局部有不明显分叉
4	带系——有明显集中带，带宽约 4mm；网系——有明显的微细分叉
5	带系——集中带宽约 7.5mm；网系——网状残余
6	带系——集中带宽约 11mm；网系——破碎网及少量堆积
7	带系——集中带宽约 15mm；网系——拉长多形网有明显堆积
8	带系——明显集中带宽约 19mm；网系——封闭完整网有明显堆积

6 高速钢中碳化物颗粒度级别判定标准是什么？

高速钢中大块角状碳化物和大颗粒碳化物统称为大块碳化物，根据 GB/T9943-2008，大块碳化物的评级分 W 系和 W-M₀ 系，见表 2 和表 3。

表 2 高速钢中大块碳化物评级标准（W 系）

	1	2	3	4
大块角状碳化物最大尺寸 / μm	18	21	23	25
大颗粒碳化物最大尺寸 / μm	16	18	21	23

表 3 高速钢中大块碳化物评级标准（W-MO 系）

	1	2	3	4	5	6
碳化物最大尺寸 / μm	-	6.1	8.3	12.5	15.6	22.1

检查大块碳化物应在试样直径或对角线的 1/4 处的纵向截面上进行，以视场中最严重为判据，试样按规定的热处理工艺淬火后于 680~720 $\times 1\sim 2h$ 回火，试样厚度 10~12mm， $\times 500$ 倍下观察。

对于高速钢来讲，碳化物是一把双刃剑，它既是保证了高速钢具有高硬度、耐磨性、红硬性等使用性能，同时又是产生各种质量问题的重要根源。为了提高刀具寿命，必须深入研究高速钢中的碳化物，深刻了解碳化物的生成和变化规律。高速钢的热处理，无非是在做碳化物的转变与转换工作，必须高度重视。

7 碳化物的溶解度对高速钢的性能有何影响？

高速钢的碳化物类型有 M₃C、M₂₃C₆、M₇C₃、M₆C、MC、M₂C 等。高速钢加热时碳化物溶解情况决定了奥氏体中碳合金元素的含量，并影响晶粒度，从而影响钢淬火后的力学性能及使用性能。碳化物溶解越充分，硬度越高，耐磨性、红硬性越高。但韧性下降脆性增大，炉前金相一定要注视碳化物的溶解情况，只看晶粒号不看碳化物溶解度是很不全面的。

我们在实践摸索出判断碳化物溶解度的简易方法：在一颗奥氏体晶粒中，5~8 颗粒溶解充分，8~12 颗溶解一般，> 12 颗溶解不好。在生产中，视刀具类别及使用情况，控制碳化物溶解度非常重要，这也是高速钢热处理的精髓。**MT**