45钢的热处理及表层改性

赵步青[1]，徐利建[2]，胡会峰[1]，吕蓝冰[3]

1.安徽嘉龙锋钢刀具有限公司　安徽马鞍山　243121
2.金华市东山机械厂　浙江金华　321000
3.常州天山重工机械有限公司　江苏常州　213032

摘要：45钢是比较难处理的钢种，因为它存在危险的淬裂尺寸。从多方面阐述45钢的热处理及表面处理，强调淬火剂在热处理中的重要性，数据全部来自生产一线，可操作性强，经济实用。

关键词：45钢；危险淬裂尺寸；硬度；发黑；磷化；渗硼

1　序言

45钢是应用最广泛的钢种之一，几乎所有的热处理工作者都和它打过交道，大多数同仁认为45钢是很难缠的“对手”，水淬易裂，油淬不硬。该钢主要用于制造各种锻件，大锻件在正火状态下使用，也可调质；小锻件基本施以调质。根据需要，淬火后也可低温或中温回火。

随着国民经济的发展和外向型经济的需求，45钢不仅用来制造工程上的各种构件，而且可以制造低档模具，以及慢速切削丝锥、板牙等刀具，还可以用来制造钢丝钳、扳手、起子、榔头等各种五金工具，以及各种园林工具和农机工具。以下简介45钢热处理工艺及表层改性方面的工艺，供业界同仁参考。

2　45钢的化学成分、热处理临界点及通用工艺

45钢的化学成分见表1，热处理临界点见表2。

表1　45钢的化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.25

表2　45钢的热处理临界点　（℃）

Ac_1	Ac_3	Ar_1	Ms
724	780	751	300

45钢的通用热处理工艺如下：

1）毛坯软化处理：740~760℃×4~6h，以50~100℃/h的冷却速度，炉冷至600℃出炉空冷。

2）正火：850~870℃加热，出炉后空冷。

3）调质：840~860℃加热淬火，450~550℃回火。

4）淬火+回火：820~840℃加热淬火，根据实际情况，选择合适的冷却剂；回火工艺根据工件要求的力学性能而定。

3　45钢的沸水淬火

45钢的淬透性较差，自来水冷却时的临界淬火直径为10~15mm，盐水冷却时也不超过25mm。工件尺寸若超过临界淬火直径，则调质效果差，尺寸越大效果越差。因此，45钢的大截面工件调质处理，沿截面不会得到均匀的组织，达不到调质的效果。为了改善这一状况，一般采用提高加热温度或选用剧烈的冷却介质，前者会引起氧化脱碳，且能耗大，后者易引起变形开裂。因此，对于超过临界直径淬火的工件，往往采用正火作为最终处理，但正火除冷却速度较慢外，冷却速度还要受到环境、气温、温度的影响，使硬度无法控制，正火的质量难以保证。

国内有人研究用沸水淬火代替调质的热处理工艺，获得了成功，现简介如下：试验用45钢的w_C为0.46%，箱式炉加热，试样规格为ϕ50mm×150mm、ϕ70mm×210mm、ϕ80mm×210mm，加热温度为840℃，采用100℃沸水冷却，在其1/2长度横截面上，沿3条过中心且均匀分布的直线测其硬度，结果

见表3。

1）大截面的45钢沸水淬火，沿整个截面的硬度和组织比较均匀。由于沸水始终保持在100℃，因而力学性能不受环境和季节的影响。

2）45钢沸水淬火可代替普通正火，作为工件的最终热处理，正火加热温度可降低15~20℃，且综合力学性能佳。

3）适当选择冷却水温，45钢大截面工件的沸水淬火完全可以代替调质处理，而且可以缩短生产周期、节能增效。

表3　45钢沸水淬火后硬度分布

试样直径/mm	试验直线	距截面中心的距离/mm										
		35	28	21	14	7	0	7	14	21	28	35
		硬度HBW										
50	1			246	245	242	241	244	245	245		
	2			245	245	241	241	244	245	246		
	3			245	244	245	241	242	245	246		
70	1		244	244	241	237	235	236	241	244	244	
	2		244	241	237	235	237	239	239	240	242	
	3		242	241	239	237	235	239	240	242	244	
80	1	244	241	240	239	236	235	235	236	237	240	242
	2	242	241	240	237	235	235	237	235	240	241	244
	3	244	241	239	237	237	235	235	237	240	240	242

4　45钢的淬火冷却

现以 ϕ 12.5mm × 60mm的45钢举例，w_C为0.46%，加热温度为840℃，论述其在不同介质中的淬火结果。

（1）水淬　从840℃保温结束淬水时，由于冷却速度较快（约540℃/s），珠光体和铁素体转变都被抑制了，直到300℃时过冷奥氏体转变成马氏体组织，这种组织的性能：R_m≥1100MPa、R_{eL}≥720 MPa、A≥7%、Z≥15%、硬度52~60HRC。

（2）油淬　从840℃奥氏体化后立即淬入N32油中，由于冷却速度缓慢（约240℃/s），开始阶段，过冷奥氏体并没有发生转变，直到450℃，部分奥氏体转变成贝氏体，冷至300℃左右，奥氏体分解停止，继续冷却时其余部分过冷奥氏体转变成马氏体。室温下的组织为＜20%的贝氏体+80%的马氏体+少量的残留奥氏体。

（3）空冷　过冷奥氏体冷到700℃左右开始析出铁素体，到650℃铁素体析出停止，残留奥氏体开始转变成珠光体，到600℃左右则全部转变成珠光体，室温下的组织为30%铁素体+70%珠光体，硬度220~250HBW。

（4）其他淬火剂　为了充分挖掘45钢潜力，人们从自家的产品出发，开发和引进了不少新的淬火冷却介质，比如：两硝水溶液、PAG淬火剂、三硝淬火剂、氯化钙水溶液、碳酸钠水溶液、有机溶剂和无机水基淬火冷却介质等。

5　45钢淬火罅裂不容忽视

45钢小件按常规工艺淬火，时有“细、短、浅、直”的瓦状裂纹发生，这种裂纹深度大约是被淬工件直径的1%~10%，若工件表面粗糙或有划痕，也可能出现粗大裂纹。这种有规律的“细、短、浅、直”裂纹特征就是所谓的罅裂。

多少年来，人们对罅裂的本质并未认识清楚，但对其研究从未停止脚步。研究表明，罅裂与原材

料并无直接关系，而与工件的尺寸是否处于易裂的危险尺寸有关，同时钢材的实际含碳量也有影响。国内同行做了大量的工作，发表了很有见地的实用文章[1]，笔者将它绘制成图1。

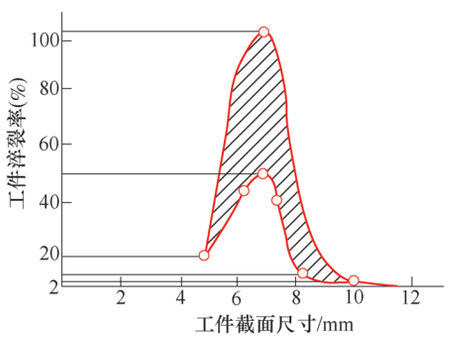


图1　45钢水淬裂纹率与工件截面尺寸的关系

从图1可以看出，罅裂始于5mm，并随着工件截面尺寸的增加而增多，其峰值在6~8mm，7mm则几乎淬裂率100%，自9mm以后罅裂趋于平缓，12mm则基本不裂。此结论被国内广大的同仁所认同。为什么会出现这个特殊的“危险淬裂尺寸”呢？比较一致的看法是，45钢工件在完全淬透的情况下，表面应力为拉应力，当该拉应力超过材料的断裂强度时，裂纹从表面萌生，ϕ5mm~ϕ8mm工件易产生裂纹正是该原因所致。工件直径≤4mm时，由于截面较小，表面与心部温差小，淬火的拉应力也小，表面拉应力未超过材料的断裂强度，故不易产生裂纹；直径＞8mm时，虽然因截面增加使淬火残余应力增加，但拉应力峰值远离工件表面，此时的表面拉应力仍未超过材料的断裂强度。如工件的尺寸继续增加，超过了钢的临界淬火直径，在未淬透的情况下，工件表面呈压应力[2]，因此更不易淬裂。

45钢淬水易裂还有一个重要的原因是临界点的突变。制订热处理工艺的主要依据是根据其化学成分和临界点，而钢的临界点主要由碳含量确定。国标45钢的碳含量范围过大，实测其临界点与手册中名义临界点差别很大，这给制订热处理工艺带来很大困难。

图2是根据实际情况绘制的曲线[3]。从图2可以看出，钢的临界点Ac_1、Ar_1并不随着钢的碳含量升高而平缓下降，而是在一个很小的区间存在着一个较大幅度的升降变化，即临界点的突变，如w_C在0.45%~0.50%的45钢的Ac_3点出现极低值，大约760℃，仍按书上的780℃+50℃制订淬火工艺，显然要出问题。

如何解决危险尺寸淬火开裂？现在已有各种措施：

1）亚温淬火。即将原淬火温度从原830~840℃降至780℃。

2）在淬火冷却介质上做文章。国内不少同仁，根据自家的产品，自配$CaCl_2$、Na_2CO_3、两硝、三硝水溶液，或选购南京科润、辽宁和兴等公司的产品，不仅解决了开裂难题，而且节能环保、增效，真是一举多得。

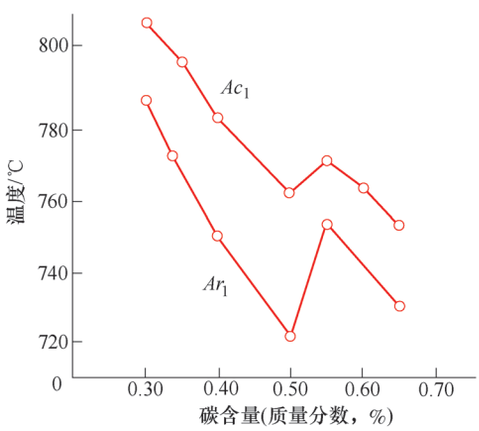


图2　中碳钢的临界点突变

6　45钢的表面处理及化学热处理

6.1　45钢小件的发黑处理

发黑液配方：NaOH（600~700g/L）+$NaNO_2$（150~250g/L）。工作温度138~140℃，发黑时间45~60min。

发黑质量检查：

1）外观检查。置于日光灯下，工件离肉眼300mm观察，颜色应为均匀的黑色，不得有明显的花斑。

2）致密度检查。在标准溶液 $CuSO_4·5H_2O$中浸渍1min（室温），无Cu析出即判合格。

3）防锈能力检查。将发黑件置于20℃、30g/L的NaCl水溶液中10min取出，在20℃以上的空气中暴露2h，目测，完全无锈为合格。

4）抗蚀能力检查。将发黑件放在20℃、50g/L的草酸溶液中8min取出，表面颜色为褐色、暗灰

色、暗绿色均判合格。

5）牢固性检查。用手轻搓20个来回无擦伤即为合格。

6.2 45钢制工件的磷化处理

20世纪90年代，浙江工具厂等单位为外商生产了大量的45钢制丝锥、板牙，淬火、回火后需磷化处理，其工艺为[4]：

30~35g/L的磷酸二氢锰铁盐（马日夫盐），80~100g/L的硝酸锌$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$，游离酸度5~7点、总酸度60~80点，温度60~70℃，时间10~15min。

磷化质量的检验：

1）外观检查。用肉眼观察磷化膜表面应为灰色或暗灰色，结晶均匀、致密、牢固、完整。

2）耐蚀性检查。①浸入法。先将磷化件浸入3%NaCl水溶液中，在室温下保持15min，然后取出用自来水冲洗干净，在空气中自然干燥30min，或用压缩空气快速吹干，如表面不出现锈点，即判合格。②点滴法。吸取少许的组份溶液（71.05g的$CuSO_4 \cdot 5H_2O$+132.9g的固体NaCl+0.1N的盐酸13.2mL+986mL蒸馏水），在室温下滴在磷化件表面上1min内不变色即为合格。

由于，45钢工件淬火后大多用250℃以下的低温回火，所以表面处理的温度应低于此温度，除了上述发黑和磷化外，还有些单位使用钼化处理和硫化处理。

6.3 45钢工件的化学热处理应用实例

（1）45钢制热切边模固体渗硼　910~930℃×4h固体渗硼后，随炉冷至室温；盐浴加热淬火，820~840℃×0.5min，淬入盐水，210~230℃×3h回火，表面硬度1290~1700HV。

（2）45钢制模具液体渗硼　对45钢制无缝钢管冷拔模、硅棒模具、釉面砖模板等，进行液体渗硼，可收到很好的效果。常用液体渗硼工艺：920~940℃×5~6h，出炉淬火，低温回火。

（3）45钢制模固体Ni-B共渗　Ni-B共渗比单一渗B更优越。其工艺过程为化学镀Ni，在金属表面形成一层致密光滑的镀层，再进行渗B，由于Ni、B、Fe的相互扩散和渗透，可以得到理想的镀层和渗层，提高了结合强度、冷热疲劳性能、耐高温氧化性能和耐磨性能，降低了单独渗B的脆性。

（4）化学沉积Ni-P合金　角钢和钢板的冷冲头用45钢制造，经830℃加热淬火、低温回火，获得硬度50~54HRC，加工成成品后再经Ni-P合金沉积，沉积层厚度为25~30μm，表面硬度可达1000HV，冲头寿命达6000多件，平均寿命提高两倍多。

7　结束语

1）由于45钢有临界点突变的特点，所以处理45钢小件时一定要关注其实际碳含量。

2）45钢小件淬火切忌用传统的NaCl水溶液，建议用既淬得硬又不至于淬裂的有机或无机溶剂。

3）45钢沸水淬火是很有前途的发展工艺。

4）充分挖掘45钢潜力，45钢可以制造多种工程构件及工具。

5）45钢制件可以进行多种表面处理及化学热处理，不管采取何种处理，把本单位的产品质量提上去是硬道理。

参考文献：

[1] 浙江大学，上海机械学院，合肥工业大学.钢铁材料及其热处理工艺[M].上海：上海科学技术出版社，1978：15-17.

[2] 安运铮.热处理工艺学[M].北京：机械工业出版社，1982：102-103.

[3] 顾学洪.关于结构钢碳含量波动范围问题的探讨[J].金属热处理，1990（1）：51-53.

[4] 赵步青.45钢丝锥板牙的磷化处理[J].机电工程，1994（2）：55-56.

MW 20210314

“2021 中频感应电炉熔炼技术研修班暨铸造企业安全隐患分析与防控培训班”圆满举办

2021年3月25~27日，由成都市铸造行业协会主办“2021 中频感应电炉熔炼技术研修班暨铸造企业安全隐患分析与防控培训班”在成都成功举办，来自全国各地的120余人参加本次培训学习。主办方特别邀请大学教授、行业专家及生产一线的工程师作了铸铁牌号、成分、金相组织与电炉炉前配料；细节决定中频电炉使用寿命；铸造企业安全隐患分析与事故防控；中频炉熔炼常见问题及对策；中频炉安全使用及防护措施；炉前快速检测及试样正确制备方法以及铸件常见缺陷分析及防止措施等报告，参加培训学习学员一致表示受益匪浅。　　（成都市铸造行业协会）