

## 基础油沸点范围对淬火性能的影响

湖北省东风汽车有限公司铸造一厂 (十堰 442048) 冯继承 编译

### 0 前言

钢淬火时,冷却剂的冷却性能对淬火效果有重大影响,一般为了得到高的硬度必须快速冷却。为此,通常是向矿物油系冷却剂(淬火油)中加入提高冷却性能的添加剂。提高冷却性能添加剂的效果,在于比单独用矿物油时更早地进入冷却速度最大的沸腾冷却期。其本质在于淬火油的沸腾特性的改性。

如果考虑到淬火油由作为少量成分的提高冷却性能的添加剂和作为大量成分的基础油组成,那么,就很容易想到基础油的沸腾特性对冷却性能有很大的影响。1951 年多贺谷、田村已经提出了这点。另外,Nakamura 曾报导向矿物油系淬火油中添加少量己烷,可使冷却性能发生很大的变化。而且,福原等人测定了在负压情况下,矿物油系淬火油的冷却性能,若改变真空度则冷却曲线也发生很大的变化,通过调节真空度可以调节淬火状态。这种冷却行为的变化可以认为是由于随着压力的变化,淬火油的沸点发生了变化,而矿物油系淬火油的沸点对冷却性能或淬火性能的重要影响早已为人们所知悉。

但是,矿物油是分子量不同的碳氢化合物的混合物,因此,其沸点是用沸点范围来表示的,目前尚未见到定量地表述沸点范围对淬火性能之影响的报告。因此在本研究中,将沸点范围不同的各种矿物油进行组合调整,测定了试样的冷却性能和淬透性,报导了关于淬火油基础油的沸点范围,即蒸馏特性对淬火动态之影响的明确定量的结果。

### 1 试验材料和实验

#### 1.1 试验材料

向由蒸馏特性不同的各种矿物油组合而成的基础油中,添加 3 % (质量分数) 作为提高冷却性能添加剂的烯系高分子化合物的 24 种试验材料(表 1)。其中 21 种试验材料的运动粘度调整为  $17 \text{ mm}^2/\text{s}$  (40 )。另外 3 种试验材料中添加的提高冷却性能的添加剂的种类和浓度与其它 21 种试验材料相同,

但运动粘度不同。

表 1 试验油一览表

试样号	运动粘度	馏出温度/						平均沸点/
		5 %	10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	
A	17.03	316	337	373	391	409	438	390
B	17.03	313	334	371	390	409	438	388
C	17.06	311	332	371	391	410	439	389
D	17.05	308	330	370	391	411	440	388
E	17.03	307	328	369	391	412	440	388
F	17.01	304	324	368	393	414	441	388
G	17.08	301	321	365	394	416	442	388
H	17.01	298	317	363	396	418	443	387
I	17.08	296	315	360	398	420	444	387
J	16.98	309	326	373	394	414	443	390
K	16.98	304	318	371	398	419	445	390
L	16.93	301	314	368	402	423	448	391
M	16.89	299	310	358	407	426	449	390
N	17.04	290	305	375	400	420	446	389
O	17.03	282	293	382	411	428	451	393
P	17.09	314	324	357	392	419	444	387
Q	17.35	312	321	348	372	405	441	377
R	17.49	302	322	360	382	400	421	377
S	17.23	302	320	355	375	397	437	377
T	17.25	295	313	358	390	414	440	383
U	17.49	292	309	350	377	403	436	375
V	24.51	366	382	407	421	434	454	420
W	42.26	316	340	405	455	490	522	442
X	42.88	390	409	452	476	498	534	474

### 1.2 实验

#### 1) 冷却性能的评定

冷却性能采用 JISK2242 (热处理油) 规定的方法测定。按此方法,将加热到  $810^\circ\text{C}$  的水银测温体(测温头)投入加热到  $80^\circ\text{C}$  的静止的油中,由连续测量测温头表面温度的下降而获得的冷却曲线即可判断其冷却性能。

#### 2) 淬透性的评定

用图 1 所示装置将直径 24 mm,厚 10 mm 的圆柱状试样(S45C)淬火,根据表面硬度测定值(7 点测定值的算术平均值)评定淬透性。试样在氢(3 %)/氮气氛中,于  $850^\circ\text{C}$  加热 45 min。试验油与测定冷却性能时一样加热到  $80^\circ\text{C}$ 。此外,在常压和负压两种条

件下将试样投入试验油中。

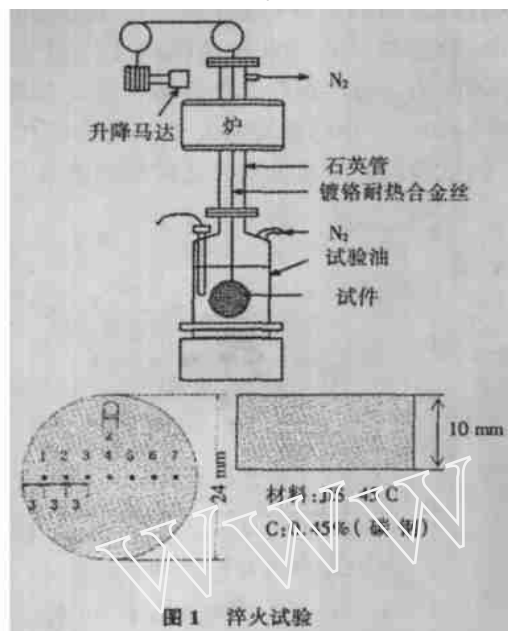


图1 淬火试验

### 3) 淬火变形的评定

采用小型间歇作业炉,同时将24支直径8 mm、长90 mm的试样(SUJ2)淬火,采用以百分表测定试样淬火后中心部分弯曲的方法评定淬火变形。试样在碳势为0.7%的气氛中于830℃加热30 min,试验油加热到80℃。

## 2 结果及考察

### 2.1 淬火硬度测定结果

在常压下,采用将运动粘度都调节到17 mm<sup>2</sup>/s的A~U试验油淬火时的表面硬度的测定结果示于图2。

由于试验油的种类不同,硬度出现很大差异,可以看到最大差值为6 HRC。一般认为,淬火油的粘度及添加剂的成分会影响淬火硬度。但在这里所用的试验油都是同一粘度、同一添加剂成分,仅仅是基础油不同。因此,可以认为在这里所看到的由试验油所引起的淬火硬度的差别,其原因乃在于基础油的不同。

### 2.2 淬火硬度与冷却性能的关系

下面讨论图2所示淬火硬度与各试验油的冷却性能的关系。

JIS K2242中规定,淬火油的冷却性能,用从800℃冷却到400℃所需的时间,以及乃是蒸气膜冷却和沸腾冷却之迁移温度的特征温度来表示。此外,JIS虽未作规定,但由从800℃冷却到300℃所需的

时间也能判断冷却性能,通常用由所需要的时间换算出的指标(H值)表示。所以,本报告中也采纳了从800℃冷却到400℃的秒数、特征温度和H值作为表示冷却性能的指标,并分别求出了它们与淬火硬度的关系。结果如图3~5所示。



图1 淬火试验结果

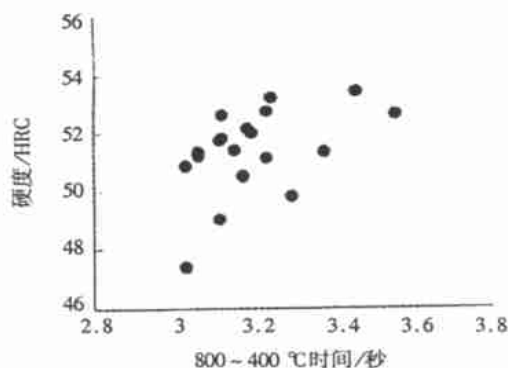


图3 淬火硬度与从800℃冷却到400℃时的冷却时间之间的关系

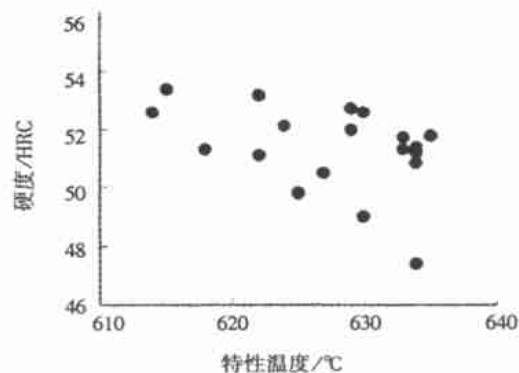


图4 淬火硬度与特性温度之间的关系

表示冷却性能的各个指标和硬度的关系虽然不明确,但显现出特征温度越低则硬度越高。同样,还可以看到从800℃冷却到400℃的秒数越长越显现

出高硬度的倾向。

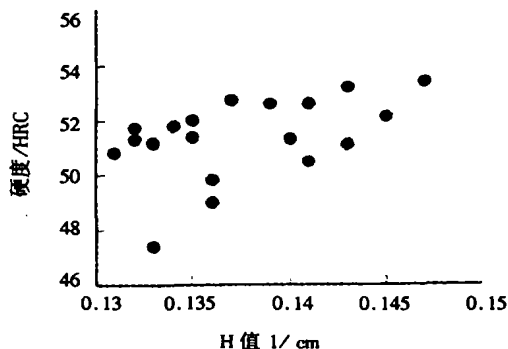


图 5 淬火硬度与 H 值之间的关系

由 JIS 的分类可以判断,特征温度越高,由 800 冷却到 400 秒数越短,则冷却性能越高。若按这个分类,则图 3 和图 4 所示的结果意味着采用冷却性能不好的试验油时还倾向能获得高的淬火硬度,这与过去通常所理解的现象是不同的。

可认为其理由在于本报告中所用的试验油的特征。也就是说,过去所知道的特征温度或由 800 冷却到 400 之秒数和淬火性能的关系,大多是在以粘度和成分等各不相同,冷却性能差异较大的淬火油为对象的情况下建立的。与此相反,在本报告中,是以仅仅是基础油的成分不同,但粘度和添加剂成分相同的试验油为对象的。因此,可以认为冷却性能差别的减小,乃是显现出和过去得到的、在冷却性能与淬火性能之关系方面出现不同结果的理由。

一方面,由图 5 所示的 H 值与硬度的关系,可以看到 H 值越大硬度越高的倾向。此结果也表明采用高冷却性能的试验油时,可以得到高的淬火硬度,这与一般所理解的是一致的。

可以认定从 800 冷却到 400 的时间越长硬度越低的倾向。从 H 值越大,即由 800 冷却到 300 所需要的时间越短则硬度越高这一事实,可以认为,就本报告所用的试验油而言,在 400 ~ 300 附近温度范围的冷却状况将影响淬火硬度。因此,对 400 ~ 300、400 ~ 350、350 ~ 300 的各温度范围,可由冷却曲线求出平均冷却速度,从而求得冷却速度与硬度的关系,如图 6 所示。可见,在 350 ~ 300 范围的冷却速度越大,则硬度越高。

由图 7 所示冷却曲线的实例(试验油 A、O),此温度范围大致相当于冷却过程的对流阶段。通常,试验油的粘度影响对流阶段的冷却速度,但这里采用的各试验油的粘度都是相同的。因此,可以认为

不同试验油在 350 ~ 300 范围内冷却速度不同,是由于不同的试验油在此温度区域内的冷却阶段不同所致,冷却速度小的试验油处于对流阶段,而冷却速度大的试验油处于对流阶段之前期的沸腾阶段。

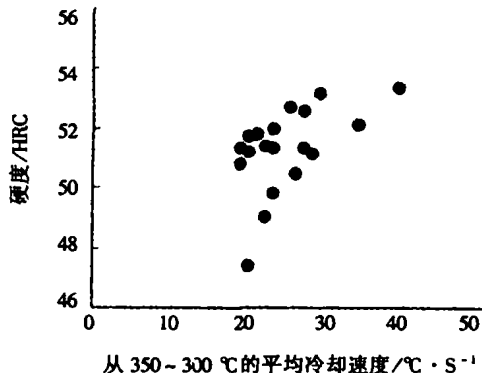


图 6 淬火硬度与冷却速度之间的关系

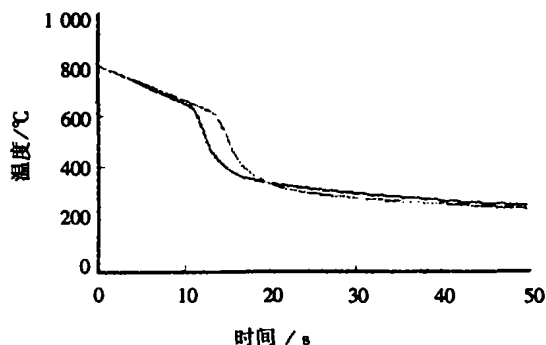


图 7 试验油 A 和 O 的冷却曲线

此外,此温度范围相当于 45 钢的贝氏体相变区和马氏体相变区的边界区域。据此,在采用 350 ~ 300 范围内冷却速度小的试验油的情况下,在达到马氏体相变区之前沸腾阶段就已结束,而穿过处于比马氏体相变区较高温度部位的贝氏体相变区的概率提高,其结果就显示出相对较低的硬度。

### 2.3 基础油蒸馏特性的影响

矿物油系淬火油的冷却性能的特征是非牛顿冷却。这一特征,是由于在从超过 800 的淬火开始温度到淬火终了温度的期间,钢材周边油的物相发生了变化所致。例如,特征温度是钢材周围的油由气体变为液体的温度,因而,在同样粘度、同样添加剂成分而只是基础油成分不同的淬火油的比较上,基础油的蒸馏特性对冷却性能有很大影响。由此,继而求出了基础油的蒸馏特性与淬火硬度的关系。

作为表示矿物油之蒸馏特性的指标,提出了馏出温度,而且也求出了根据馏出温度算出的平均沸

点与硬度的关系。此外,按 JIS K2254(石油制品蒸馏试验方法)规定的气相色谱法蒸馏试验方法测定馏出温度,对 10%、30%、50%、70%、90% 馏出温度进行算术平均以求出平均沸点。

对各馏出温度及平均沸点与硬度的关系进行线性近似,各关系的相关系数示于图 8。

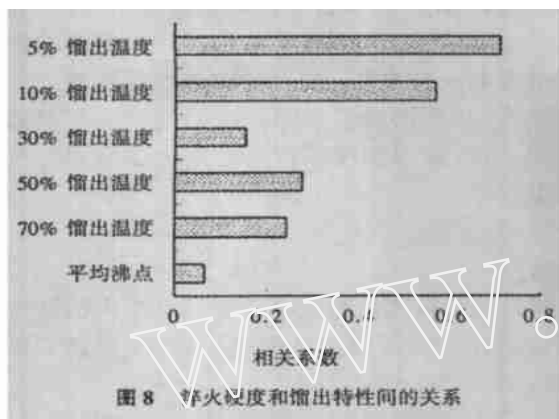


图 8 淬火硬度和馏出特性间的关系

可见,平均沸点和 50% 馏出温度等的平均沸点与淬火硬度的相关程度不充分,而淬火硬度与 5% 及 10% 馏出温度具有高的相关系数。馏出温度是表示通过油的加热气化,冷却凝结来分馏油时的回收量(馏出份额,容积%)和加热温度之关系的指标,与 5%、10% 馏出份额的相关程度高,意味着基础油中所含低沸点成分的量影响淬火硬度。此外,5% 馏出温度与 350~300 范围内的冷却速度具有如图 9 所示的密切关系,5% 馏出温度越低则在 350~300 范围内的冷却速度越大。

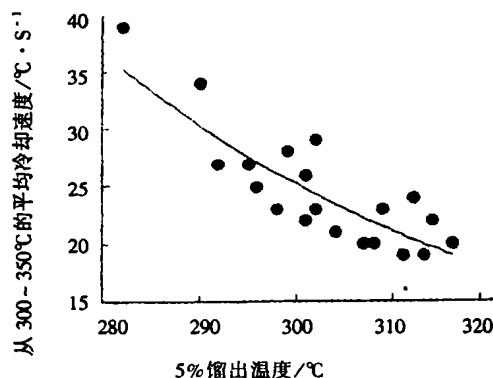


图 9 冷却速度与馏出特性之间的关系

从以上所述,关于基础油的馏出特性对淬火硬度的影响可考虑如下,即基础油的蒸馏特性影响冷却速度最大的沸腾阶段的终止温度,对于采用相对轻质基础油的场合,沸腾阶段继续到低温区域而穿过贝氏体相变区的概率低,结果显示高淬火硬度。

此外,基础油的 5%~10% 馏出温度也影响沸腾终止温度。

## 2.4 负压下的淬火试验

用试验油 V 在负压下进行淬火试验时的结果示于图 10。各压力下的蒸馏曲线分别示于图 11。

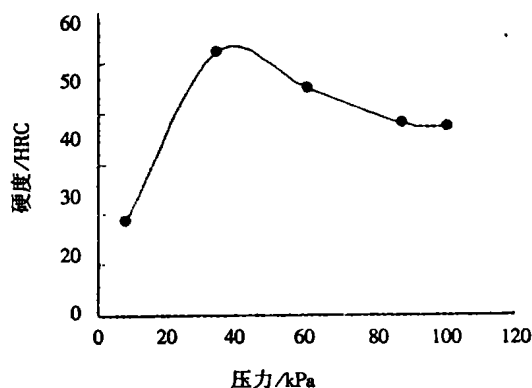


图 10 淬火硬度与压力之间的关系(试验油 V)

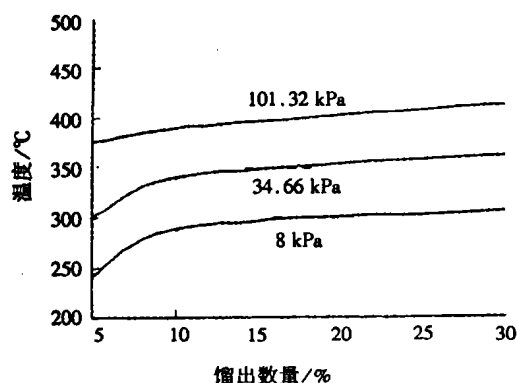


图 11 压力对试验油 V 馏出特性的影响

淬火硬度在压力 34.66 kPa 附近显示出极大值。在负压下,矿物油的沸点发生变化,变得相对地轻质化。因此,若基于以前述及的关于基础油的蒸馏特性与硬度之关系的研究,则可以预期会出现淬火硬度随压力的降低而提高的倾向,但在压力降低的同时招致特征温度下降,从而使穿过珠光体转变区“鼻子”部分的危险性增高。基于这一理由,要使淬火硬度能出现极大值,从显示最大淬火硬度之压力时的蒸馏曲线判断,可以认为,为得到高的淬火硬度,以采用淬火气氛压力为 5%~10% 的馏出温度在 300~350 范围的基础油为佳。

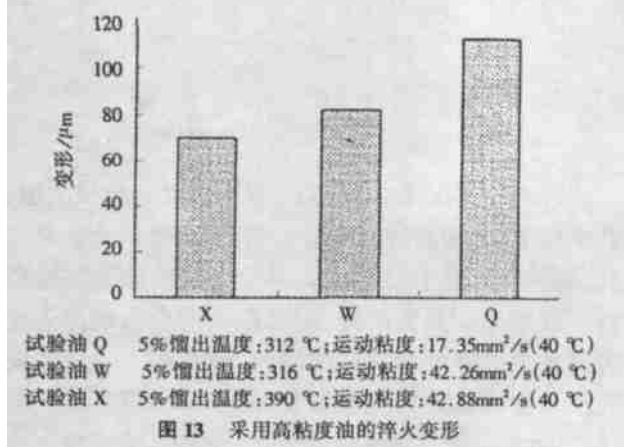
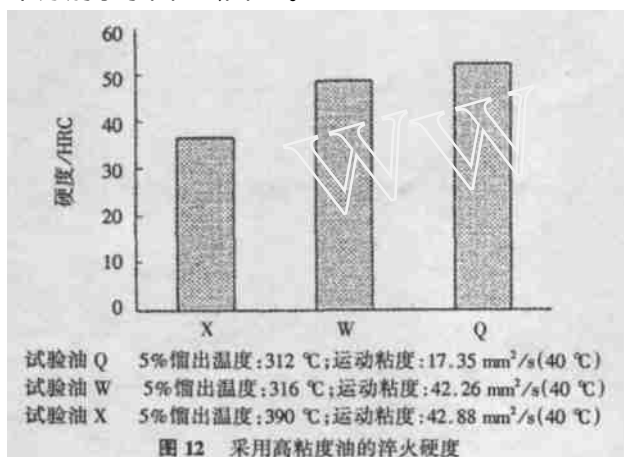
## 2.5 通过调节粘度和基础油的蒸馏特性,抑制淬火变形。

通常使用粘度低的淬火油可得到高的淬火硬度。另一方面,若使用粘度高的淬火油,则可相对地减轻伴随淬火而发生的变形,淬火硬度和变形是矛

盾的现象,要同时满足这两方面的要求乃是困难的课题。

但是,粘度低的淬火油相对较多地含有低沸点的成分,可以认为用低粘度淬火油时的效果,是由粘度本身的效果加上蒸馏特性的影响所致。因此,研究了调整基础油的蒸馏特性后的高粘度淬火油对淬火硬度和变形的影响。

采用同样添加剂成分,但运动粘度和蒸馏特性不同的三种试验油时的变形量和淬火硬度的比较结果分别示于图 12、图 13。



这里所用的试验油 W 和 X,运动粘度都调整到 42 mm²/s (40 °C),试验油 W 所用的基础油的 5% 馏出温度在 350 °C 以下,与另一种试验油 X 采用 5% 馏出温度在 350 °C 以上的基础油不同。

采用试验油 W、X 中的任何一种时,与采用运动粘度低的试验油 Q [17 mm²/s (40 °C)],5% 馏出温度 312 °C 时的情况相比,都表现出较小的变形量。而且,在采用试验油 W 和试验油 Q 的情况下淬火硬度大致相同,而比采用试验油 X 时的硬度值高。

以上结果使我们明确了粘度对淬火硬度的影响乃是粘度本身的效果。加上基础油蒸馏特性的影响这一事实,从而知道了采用同时调整粘度和蒸馏特性的淬火油,有可能在保持高的淬火硬度同时又达到减少变形。

### 3 结论

进行了旨在定量地说明矿物油系淬火油基础油的蒸馏特性对淬火硬度之影响的研究,得到了以下结果。

1) 确认了即使是同一粘度、同一添加剂成分,若基础油种类不同则淬火硬度也不同。

2) 由淬火硬度和冷却性能的关系,可以认为,这种行为的原因在于因基础油不同而导致对流冷却的开始温度各异。

3) 基础油的 5% ~ 10% 馏出温度影响淬火硬度,若 5% ~ 10% 馏出温度在 300 ~ 350 °C 范围内则可获得高的硬度。

4) 应用上述结果,通过同时调整基础油的蒸馏特性和运动粘度,即可能得到同时满足硬度和变形两方面要求的淬火油。

### 参 考 文 献

- [1] 多贺谷正义,田村今男:日本金属学会志,1951,15 (12):598.
- [2] 多贺谷正义,田村今男:日本金属学会志,1953,17(5):217.
- [3] Nakamura E.: Proceed. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Quench. & the Cont. of Distortion, Cleveland, 1966:111.
- [4] 福原和人,朝田繁:J. Advanced Sci., 1990,2(4):257.
- [5] 小仓茂稔,关 克己,田柳光裕:塑性加工,1991,32 (370):1391.