

# Cr12型钢检测分析及热加工技术

唐赣民, 史忠科

(西北工业大学 自动化学院, 西安 710072)

**摘要:** 设计了一种计算机实时金相定量分析系统 (简称: 计算机分析系统), 该系统采用先进的图像处理技术实现定量金相测量。利用该系统对 Cr12 型钢进行了定量金相分析, 完成对模具失效形式的分析, 并提出了解决模具寿命短的锻造方法。在保证锻件质量前提下, 对锻后热处理工艺的主要特性和某些现象的可行性作了探讨性研究。提出了掌握 Cr12 型钢热加工关键技术是保证模具质量, 提高模具寿命的主要途径。

**关键词:** Cr12 型钢; 视频检测; 图像处理; 金相技术; 热加工技术

**中图分类号:** TG142.71

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-5053 (2007) 01-0070-06

金相分析的传统方法是由检测人员对照标准图谱, 目测受检试样评估技术等级。这种方法误差大 (平均误差 0.5 级), 人工因素多且重复性不好, 尤其是在产品质量仲裁时往往引起争议, 须申请权威部门仲裁。近年来用图像系统进行自动定量金相测量已在国际上广泛应用, 检测结果准确可靠、科学公正, 是传统人工测评方法不可比拟的。

本工作设计了一种计算机实时金相定量分析系统 (简称: 计算机分析系统) 该系统采用先进的图像处理技术实现定量金相测量。并利用该系统对 Cr12 型钢进行了定量金相分析, 完成对模具失效形式的分析, 并提出了解决模具寿命短的锻造方法。

## 1 计算机分析系统组成

对于一幅单色图像, 可以用一个连续二元函数来描述。  $B = F(x, y)$ , 其中  $x, y$  分别表示图像中某点的坐标值。  $B$  为该点的亮度 (灰度)。对于彩色图像则可用三基色分别描述它。而为了能用计算机分析图像系统, 首先要将图像数字化。这由采样和量化两项工作来完成。采样是对位置进行离散化, 而量化则是对采样值进行离散化。这样一幅图像可以由  $M \times N$  阶矩阵表示。将系统离散化后才能用计算机处理。计算机分析系统结果框图如图 1 所示。

下面介绍本系统在 Cr12 型钢辅助定量分析中的应用。

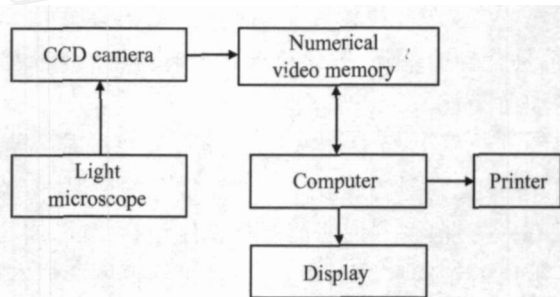


图 1 计算机分析系统结果图

Fig 1 Block Diagram for Computer Analysis System

## 2 Cr12 型钢的合金成分

Cr12 型钢是高铬、高碳合金钢。由于它具有硬度高、耐磨性好、淬透性和韧性高、淬火变形小等优点, 所以被广泛用于模具制造工业, 尤其是用于断面大、形状复杂、承受较大冲击负荷的模具 (如硅钢片模、六角螺栓切边模、滚丝模等)。可是, 尽管 Cr12 型钢有如此广泛的用途和优点, 若没有合理的热加工工艺予以保证的话, 不仅难以发挥 Cr12 型钢的独到优点和潜在性能, 而且还可能造成模具变形和开裂, 严重影响模具使用寿命。本工作对 Cr12 型钢进行了一些试验研究。所涉及的 Cr12 型钢的成分见表 1。

## 3 Cr12 型钢的失效分析和锻造关键技术处理

### 3.1 Cr12 型钢的锻造工艺特性

由于 C 和合金元素含量较高, 导热性差, 锻造和热处理要进行预热, 冷却速度要缓慢, 且碳化物多, 铸态碳化物偏析严重 (有网状共晶莱氏体存在, 故称莱氏体钢), 虽经轧制, 仍有严重的碳化物偏析

收稿日期: 2005-02-20; 修订日期: 2006-06-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助 (60134010)

作者简介: 唐赣民 (1958—), 男, 博士, 从事信号检测与信号处理方面的研究。

表 1 Cr12型钢化学成分组成  
Table 1 Chemical constitution of Cr12 steel

Steal grade	C	Cr	Mo	V	Si	Mn	S	P
Cr12	2.0~2.3	11.5~12	—	—	0.4	0.4	0.03	0.03
Cr12Mo	1.45~1.7	11.5~13.0	0.4~0.6	—	0.4	0.4	0.03	0.03
Cr12Mov	1.42~1.7	11.0~12.5	0.4~0.6	0.15~0.3	0.4	0.4	0.03	0.03

(常呈带状分布)。若无合理工艺予以保证,易引起热处理变形或开裂。

3.2 Cr12型钢失效分析

图 2 为 Cr12MoV 钢凹模使用过程中发生崩刃和舌形根部断裂零件图。

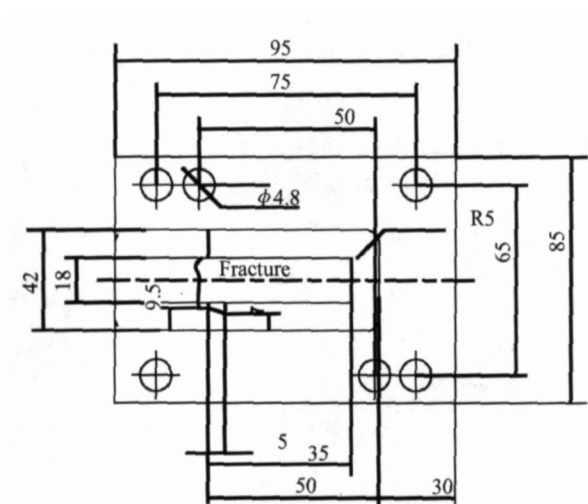


图 2 断崩刃和舌形根部断裂零件图  
Fig 2 The fracture of tipping and ligula root

对断裂的舌形部分采用计算机分析系统进行了金相检查,发现碳化物非常粗大(见图 3),呈网状分布,约为 5~6 级。锻造该件是  $\phi 100$  坯料,简单成形,未能反复锻造,由于原材料直径较大,碳化物不均匀,且级别差,变形程度又很小,因此,不能把粗大的碳化物打碎。

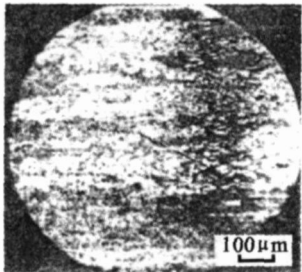


图 3 断崩刃和舌形根部断裂处金相检查  
Fig 3 Metallographic examination of fracture of ligula root

图 4 为 M12 六角螺栓切边模刃口崩裂。材料为 Cr12Mov。

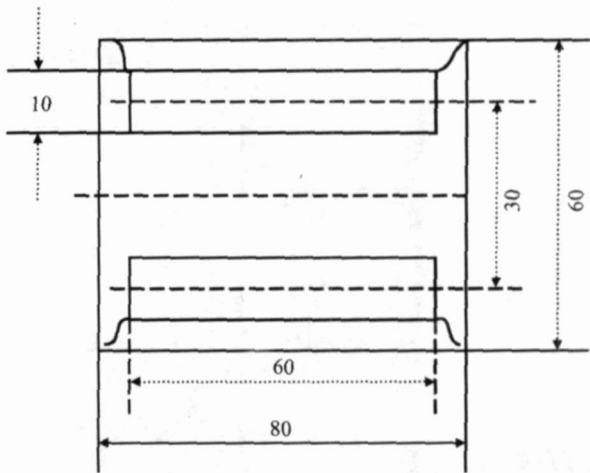


图 4 切边模刃口崩裂  
Fig 4 The fracture of sheared blade

坯料规格为  $\phi 52, \phi 55, \phi 65\text{mm}$  三种,未经锻造,直接用坯料切削加工成模具,经一次硬化,二次硬化和 270℃ 等温 3h 进行贝氏体淬火,寿命很低,平均 1~2 千件。主要损坏形式是崩刃和掉块。

对上述三种材料进行金相检查: $\phi 52, \phi 55, \phi 65$  的碳化物不均匀等级分别为 3.5 级、4 级和 5 级。均呈带状分布(见图 5 为  $\phi 65\text{mm}$  模具工作部位金相),模具工作部位正好是坯料质量最差的中心部分。这种碳化物分布不均匀情况是难以用热处理来改善的。因此尽管采用了一次硬化、二次硬化,效果也很差。解决的有效方法是进行合理锻造,彻底破碎碳化物,并使其均匀分布。

图 6 为硅钢片凸凹模,材料为 Cr12,该模具仅用  $\phi 80\text{mm}$  坯料简单墩扁成形,采用一次硬化法热处理工艺。试模后,冲压几百件就在二孔外侧直角处出现裂纹。

对模具裂纹进行了金相检查,碳化物不均匀为 5 级,组织比较粗大,呈带状碳化物(见图 7),主要原因是锻比不足所致。

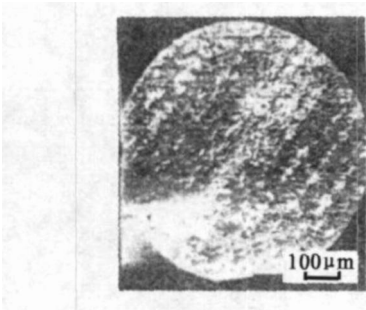


图 5 模具工作部位金相检查  
Fig 5 Metallographic examination of the working park of die

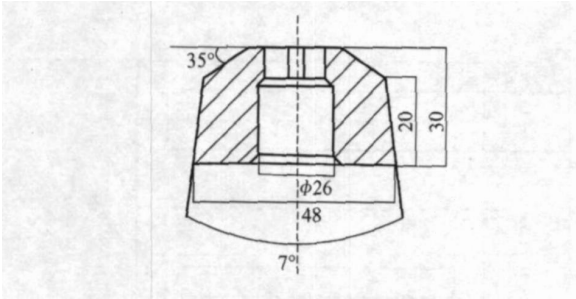


图 6 硅钢片凸凹模  
Fig 6 The punch-die of sillcon-steel plate

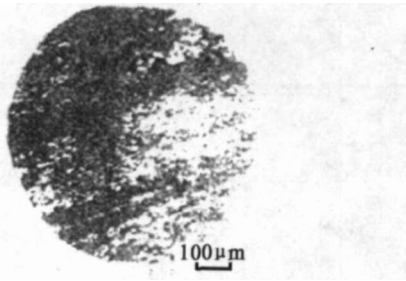


图 7 模具裂纹 金相检查  
Fig 7 Metallographic examination of crack die

3 3 关键锻造工艺的处理

从上述 Cr12型钢失效分析可见,由于 Cr12型钢属高碳高铬钢,受合金碳化物影响严重,因此就决定了该钢种对锻造工艺的特殊要求。发挥 Cr12型钢的合金潜在性能是锻造的主要目的。而锻造质量的好坏又直接关系到热处理的组织准备和工艺性能。因此改善碳化物分布是锻造的关键性技术,直接关系到 Cr12型钢的使用性能。

3.3.1 国产 Cr12型钢的碳化物分布和等级情况

国产 Cr12型钢的碳化物分布和等级情况见表 2。

表 2 Cr12型钢的碳化物分布和等级表

Table 2 Distribution and grade table for carbide of Cr12 steel

Diameter of steels/mm	Distribution list of carbide	Degree of irregularity of carbide
< φ30	Minuteness, even distribution	3
	Even distribution (from surface to 5 ~ 6mm deep). Zonal	
φ30 ~ 60	distribution (toward centripetal). Apparent zonal distribution (from surface 10 ~ 12mm)	3 ~ 4
φ50 ~ 60	Zonal distribution, then reticular distribution	4 ~ 5
> φ60	Intermittent or closed reticular distribution	φ75 ~ 100; 5 - 6 > φ100; 6 - 7

从表中可知,直径小于 φ30mm 的 Cr12型钢,可直接使用制作模具,因其碳化物分布均匀,可不进行检查,对于直径大于 φ50 ~ 60mm 的 Cr12型钢,因其碳化物偏析等级较高,需进行改锻。介于 φ30 ~ 60mm 之间的材料应对其进行碳化物偏析的等级检查,凡不合格的都应进行改锻。

3.3.2 如何确定工序间锻拔锻造比

根据实践经验和有关资料介绍,锻造对改善碳化物偏析的作用,不仅取决于锻拔次数(即总的变形程度),而且还取决于每次锻拔工序间单次拔长的变形量。单次拔长变形量越大,对改善碳化物偏析效果越好(作用比锻粗大)。但过大的拔长又会使随后的锻粗时发生纵弯。锻粗有助于消除网状和带状组织,并增大拔长的相对延伸量。而过大的锻粗又会使随后的拔长过程发生困难,甚至无法进行。为了保证锻件达到预定的变形量,应适当地选取锻

造过程中的工序尺寸。一般应符合下列原则:

拔长后坯料长度 其边宽尺寸的三倍;锻粗后坯料高度 锻粗前坯料高度的 1/2。

3.3.3 锻造工艺的确定

要锻出合格的锻件,选择和设计合理的锻造方法是至关重要的。而目前,很多厂在锻造工艺的运用上存着一种偏向,即认为只要增大锻造比,进行反复锻拔,就可以达到破碎碳化物的目的。可是,如果工艺设计不合理,一味增加锻造比,虽然碳化物的破碎在某种程度上得到了一些改善,但由于回火次数过多,易造成锻件锻裂导致报废。况且若一味顺纤维方向反复锻拔,对芯部组织改善不大。尽管对同一直径的原材料,其锻造工艺也可能有明显区别。下面是对一些同一直径规格的 Cr12型钢进行不同锻造工艺后的结果比较(见表 3)。

表 3 Cr12型钢不同锻造工艺结果比较

Table 3 Comparing of different results of smithing technics of Cr12 steel

Forging method		Stock size		Aliquation grade of primary stock carbide			Aliquation grade of as-forging carbide		
		Pre-forging	As-forging	Edge	1/2 diameter	Center	Edge	1/2 diameter	Center
Noreversed forging	Single up set	φ80	φ170	5 - 6	6 ~ 7	7	5	6 ~ 7	7
	A long fiber primary	φ110	φ60	6	8 ~ 10	10	4	6	—
	lengthening	φ110	φ50	6	8 ~ 10	10	2.5	4	7
	A long fiber thrice	φ110	φ60	6	8 ~ 10	10	3	4	5
	swage-set	φ110	φ50	6	8 ~ 10	10	2	4	4
	A long fiber thrice	φ80	φ80	5 - 6	6 ~ 7	7	2	6	7
Reversed cross deviant forging	swage-set	φ80	Last length φ40 then up set φ80	5 ~ 6	6 ~ 7	7	1 ~ 2	3 ~ 4	3 ~ 4
	Primary radial cross forging	φ80	φ80	5 - 6	6 ~ 7	7	4 ~ 5	5 ~ 6	5 ~ 6
	Primary three-way cross forging	φ80	φ80	5 - 6	6 ~ 7	7	2 ~ 3	2 ~ 3	2 ~ 3
	Scoundary three-way cross forging	φ80	φ80	5 - 6	6 ~ 7	7	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 2

从表 3 可以知道如下结果：

(1)对于边缘特性要求较高时,且又有严格流线方向要求的工、模具(如凸模、铰刀、钻头等)可根据原材料直径大小和碳化物不均匀等级要求情况采用顺纤维方向的不变向锻造(如一次拔长二次墩拔、三次墩拔等)即可达到所需效果。

(2)对于芯部组织特性要求较高和整个工作表面特性要求较高时(如复杂硅钢片模和有些工作刃口在芯部的模具),光采用顺纤维方向反复墩拔就不能达到预期效果。只有采用三向(或多向)走扁方锻造才能获得理想组织。因为由于金属基体塑性变形时,滑移方向随变向锻造而必然加多,有利芯部碳化物破碎。另外毛坯拔长时散热面积增大了,毛坯温度不易升高,有利于芯部碳化物偏析的改善。

3.3.4 锻造设备吨位的选择

Cr12型钢含有大量合金元素,变形温度高,变形抗力大,需选用较大的设备吨位(相当于一般结构钢的两倍)。因为锻锤吨位小,打击力不够,变形只发生在表层,中心部分的碳化物不能击碎,易造成使用时开裂。但是,设备吨位也不宜过大,因为打击过重,也容易锻裂。根据一些生产实践经验,可参考下面表 4 选择设备吨位。

3.3.5 锻造操作要点

Cr12型钢化学成份复杂,碳化物偏析严重,高温塑性差,导热性差,可锻温度范围窄,除制订正确的工艺规范外,还要有如下的正确的操作方法。

(1)锻造温度必须严格控制,发现有升温现象,

应减轻锤击力或稍停一会,待温度转入正常时再打,否则易引起过热或过烧而使锻件报废。当坯料温度降低时应立即返炉。始锻温度应控制在 1050 ~ 1100 ,终锻温度为 850 ~ 900 。加热规范,在 800 ~ 900 预热 90min,然后加热到 1100 ~ 1300 保温 45min。锻后放入石棉灰或干砂子中缓冷到 100 ~ 150 ,然后取出空冷。为防止锻件芯部组织在低温条件下由奥氏体转为马氏体时产生组织应力而发生开裂,Cr12型钢锻件应在锻后 24h内进行退火。

(2)严格执行轻——重——轻的操作方法。始锻和终锻时要轻打,在 900 ~ 1010 范围内要重击,以利于打碎碳化物。

(3)墩粗时不宜过分重击,避免鼓形出现而导致裂纹的产生。截面过大的坯料不应全部置于锤下墩粗。

(4)操作时应注意“二均匀”原则,即温度均匀。勤送、勤翻转、勤倒棱、勤校正。

表 4 设备吨位选择表

Table 4 Equipment tonnage selecting table

Hammer rating/ton	Scope of forging	
	Diameter or broad-brim of elongated stock/mm	Weight of repeated swage-set/kg
0.15	35	1
0.25	40	1.5
0.30	20 ~ 50	1 ~ 3
0.40	35 ~ 70	2 ~ 5
0.50	50 ~ 85	4 ~ 7
0.75	70 ~ 120	5 ~ 15
1.00	85 ~ 150	10 ~ 25

(5) 锻粗后拔长应先夹住毛坯与下砧接触的一端, 拔长送进量要适当, 一般送进量为  $(0.5 \sim 0.7)H$  ( $H$ : 为锤击方向坯高), 送进量过大, 则易导致十字裂纹, 过小则变形不透。

(6) 锻前应将表面预热到  $150 \sim 250$  为宜。

(7) 严格控制最后一火的终锻温度, 并保证足够的变形量。

## 4 Cr12型钢热处理工艺特点

### 4.1 Cr12型钢热处理工艺特点

(1) 奥氏体等温转变曲线很靠右, 中温转变区奥氏体很稳定, 淬透性很高, 油淬能淬透  $300 \sim 400\text{mm}$ 。图 8 为 Cr12MoV 钢的 A 等温转变曲线。

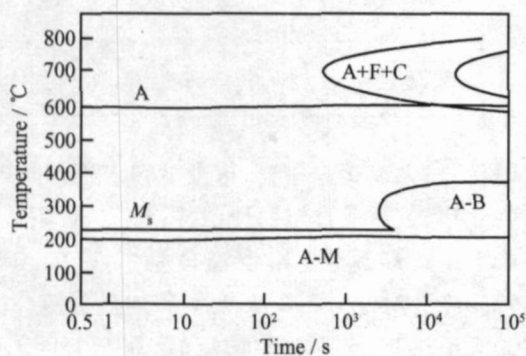


图 8 A 等温转变曲线

Fig 8 A isothermal change curve

(2)  $M_s$  点低, 淬火残余 A 量很多 (见图 9)。所以淬火变形小, 因为晶格畸变均为 A 所容。如果能很好地控制加热温度, 调节残余奥氏体量, 甚至可达无变形程度。

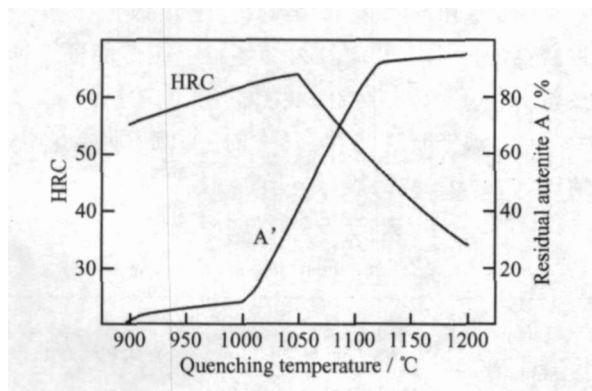


图 9 淬火残余量曲线

Fig 9 Quenching remainder curve

(3) 二次硬化现象明显从 (图 10) 中可以看出 Cr12 型钢淬火后在不同温度回火时的硬度变化。高温淬火后, 组织中残余奥氏体量很多, 硬度较低

(HRC40 ~ 50) 但是由于马氏体和残余奥氏体的合金度较高, 经高温 ( $300$  以上) 回火, 可析出高弥散的碳化物以及由于残余 A 发生马氏体转变使硬度升高出现二次硬化现象。淬火温度越高, 二次硬化作用越明显。

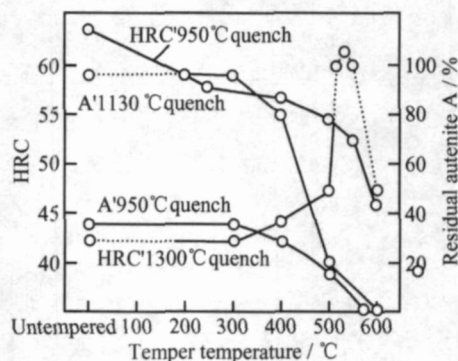


图 10 回火残余量曲线

Fig 10 Quenching remainder curve

### 4.2 锻后退火处理

经过锻造后的毛坯有很大的内应力, 硬度也较高 (HB477 ~ 635), 难以切削加工。为了消除内应力, 降低硬度, 改善切削加工性, 使碳化物球化, 为淬火作组织准备 (因为片层状珠光体比球状珠光体组织的过热敏感性大, 加热时易粗大, 造成淬裂) 必须进行退火, 一般采用等温退火。退火后组织为粒状索氏体, 硬度为 HB207 ~ 269, 推荐采用下列退火工艺 (见图 11)

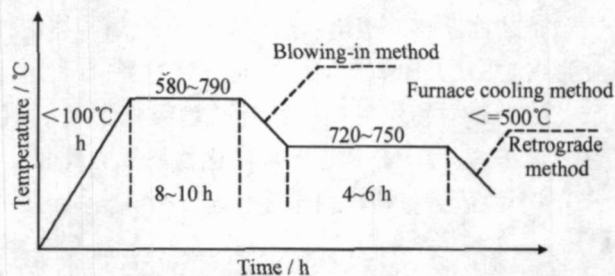


图 11 退火工艺曲线

Fig 11 Annealed technics curve

### 4.3 淬火和回火

结合 Cr12 型钢在不同温度下淬火和回火的性能 (硬度) 变化特点, 考虑模具的具体要求, 可采用一次硬化法或二次硬化法淬火与回火工艺。

(1) 一次硬化法

淬火温度: Cr12: 970 ~ 990

Cr12MoV: 1030 ~ 1050

由于 Cr12型钢导热性能差 ,加热时一般进行两次预热 ,第一次温度为 400 ~ 500 ,第二次为 800 ~ 850 。(见表 5)

回火温度的要求应根据模具对硬度等力学性能的要求来决定。当模具要求高硬度 (HR<sub>C</sub> 61~63)和

高耐磨性 ,但对淬火状态尺寸不希望再有变化时 ,宜采用低温回火 (160 ~ 180 )。当模具要求有较好的韧性 ,或者要求尺寸比淬火状态小一些时宜采用中温回火 (200 ~ 270 )。注意应避免在 300 - 370 温带内回火 ,因为这一温带是脆性温度区。

表 5 预热及淬火时间

Table 5 Time of warm-up and quenching

Type of steel	Time of warm-up		Time of quenching/min mm-1	
	400 ~ 500	800 ~ 850	Electric box furnace	Suspended furnace
Cr12 steel	30 ~ 60min (or baking)	0.3 ~ 0.7min/mm	1.0 ~ 1.2	0.3 ~ 0.35

(2)二次硬化法

淬火温度 : Cr12 : 1080 ~ 1100

Cr12MoV: 1100 ~ 1120

由于淬火后有较多的残余奥氏体 ,所以硬度较低 (HR<sub>C</sub> 40 ~ 50)。但在 510 ~ 520 多次 (2 - 3次)回火后 ,会出现二次硬化现象 ,使硬度升高到 HR<sub>C</sub> 60 ~ 61。这种工艺适用于在 400 ~ 450 条件下工作的模具或需进行低温碳氮共渗的模具以及希望有较好综合力学性能的模具。

在热处理中温度的控制、工艺方案的确定是继锻造后应掌握的第二个关键性技术。有人认为单纯增加回火次数 ,就可使组织性能得到某种程度的改善 ,其实不然 ,就二次硬化而言 ,若不是在固定的温度带淬火 ,即使在 510 ~ 520 回火多次 ,二次硬化现象也不会很明显。因此 ,对 Cr12型钢热处理工艺的运用 ,亦应根据要求和使用的特定环境来决定。

实际的需要 ,针对 Cr12型钢的加工方法可有效的延长模具使用寿命。

参考文献 :

[1] 王建萍、王家平. 数字图像处理在定量金相分析中的应用 [J]. 材料导报, 2003, 17(1): 63 - 68.

[2] 李永福、葛夏文. 复合强韧化处理 CrWMn制订模脆断机理研究 [J]. 昆明理工大学学报, 2002, 27( 5): 26 - 31.

[3] DU K, RAU Y. Lattice Distortion Analysis Directly from High Resolution Transmission Electron Microscopy Images-the LADIA Program Package [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2002, 2: 48 - 53.

[4] 李志敏,秦国友. 定量金相的图像分析技术 [J]. 光电工程, 1995, 3: 46 - 50.

[5] 盛国裕. 视频系统在定量金相方面的应用 [J]. 仪器仪表与分析监测, 1998, 4: 6 - 9.

5 结 论

计算机分析系统的金相分析结果能够满足工程

Video-Detecting and Image-Processing the Structure of Cr12 Steel and Hot Working Processes

TANG Gan-min, SHI Zhong-ke

(School of Automatic, The Northwestern Polytechnic Univ, Xi 'an 710072, China)

**Abstract:** The structure of Cr12 steel was evaluated by comparing to the standard plates under microscope. Such evaluation method is not precision enough for modern industrial requirements. In this paper, the video-detecting and image-processing techniques to carry out the inspection of the microstructure of Cr12 steel, was employed. Based on those results, a series of new hot working processing techniques was designed, i.e., new forging and heat treatment processes.

**Key words:** Cr12 Steel; Video-detecting; Image-processing; metallographic technique; hot-working process