

热锻模具的强韧化和真空软氮化处理

北京航空材料研究所 张国安 张绍维

本文分析了 3Cr2W8V 钢扳手热锻模具常见失效形式和主要失效原因,研究了在箱式炉中用旧渗碳剂保护淬火加热和在盐浴炉中淬火加热两种加热方法的模具强韧化处理工艺。并探索了模具新的真空脉冲软氮化表面强化工艺。

Heat Treatment and Low Pressure Pulse Nitrocarburizing of Hot-Extrusion Dies

Zhang Guoan Zhang Shaowei
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

This paper analyses the way and the reason of the failure for hot-extrusion dies of 3Cr2W8V steel, deals with two strengthening and toughening heat treatment techniques and new low pressure pulse nitrocarburizing surface strengthening technique of the tool steels.

前言

目前我国 3Cr2W8V 钢仍广泛用于制造各种热锻压、热冲压、金属压铸等模具。某工具厂用 3Cr2W8V 钢制的热锻压扳手模长期采用 1060℃ 淬火、560℃ 回火的常规热处理工艺,以保证较高的冲击韧性和较好的塑性。

3Cr2W8V 钢经 1100℃ 以下淬火后,大部分钨、钒等合金元素仍保留在碳化物 (W_6C 、 VC 和少量 $M_{23}C_6$) 中,固溶于基体中的钨不超过 4%。因此,这种工艺不能充分发挥合金元素的作用。用上述工艺处理的热锻压扳手模在使用中磨损严重,寿命很短。现采用高温淬火、高温回火及表面热处理强化工艺,显著延长了热锻压模的使用寿命。

一、模具的服役条件及失效形式

扳手用 45 号钢在 300 吨摩擦压力机上制造。锻造温度为 850~950℃,每个扳手锻压一次(少数锻压两次),每次锻坏在模腔中停留 2~4s。模具工作时承受巨大的周期性压力,产生径向挤压,并带有较强的冲击力,同时坯料金属受力产生塑性变形而剧烈流动,使模面受到强烈摩擦。模面与炽热坯料接触连续工作时,模面温度可达 500~600℃,当粘模时温升最高可达 700℃。生产中通常采用自然空冷,间或涂敷机械油(润滑并冷却)。

在正常使用条件下,扳手模具的失效形式表现为塑性变形、热磨损(图 1)和开裂(图 2)。其中以塑性变形、热磨损为主;其次是开裂,属于交变热应力引起的热疲劳

破坏,金相观察表明裂纹为穿晶发展。

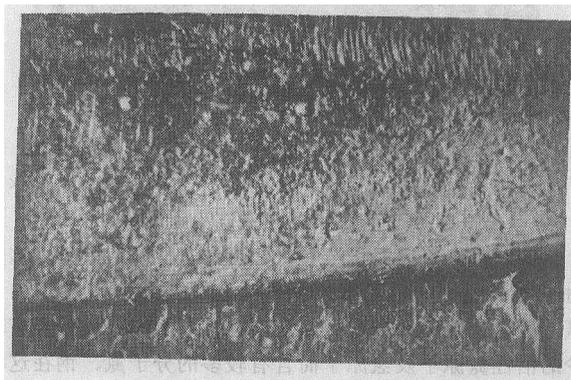


图 1 扳手模具磨损表面局部放大 × 10

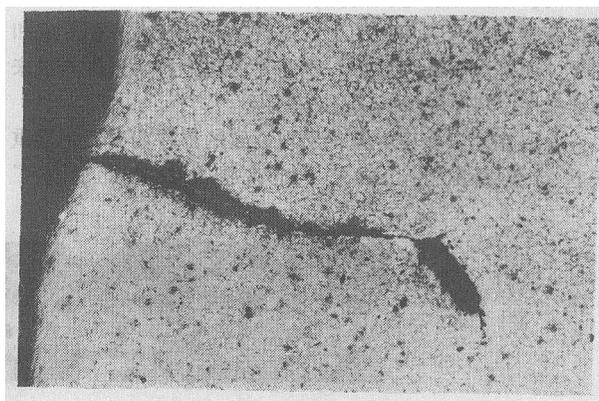


图 2 扳手模具上的小裂纹(穿晶发展) × 100

二、强韧化热处理工艺

试验材料采用国产 3Cr2W8V 钢，其化学成分见表 1。

1. 试样

试验用模具为 16"×17" 扳手模，外型尺寸为 240mm×90mm×80mm。试样尺寸为 $\Phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，热处理后将试样线切割成 12mm×12mm×12mm 金相试样。

2. 加热设备

高温箱式炉；埋入式高温盐浴炉；中、低温盐浴炉；低温箱式炉。

3. 热处理工艺

(1) 在高温箱式炉中用旧渗碳剂保护，1080℃×110min 加热淬油。

(2) 两次预热后放入 1150℃ 高温盐浴炉加热 40min 后淬油。

(3) 560℃×3h 回火两次。

三、真空脉冲软氮化工艺

1. 试验条件

试验用扳手模具及试样的热处理状态为：1150℃ 淬火、600℃×3h 回火。试验用模具的型号同上，金相试样尺寸为 10mm×10mm×5mm。

软氮化工艺优先在真空多用热处理炉中进行。

采用 DM-400 型显微硬度计测量渗层硬度和脆性。

2. 软氮化工艺

软氮化温度分别选用 580℃、600℃、650℃。优选：氮化时间为 4h，真空氮化压力为 140~410Torr，气源采用氨气和无水乙醇，出炉后油冷。

四、试验结果及分析

模具经常规热处理后的使用寿命与经高温淬火、真空脉冲软氮化后的使用寿命的比较见表 2。

由表 2 可知，提高淬火加热温度同时采用旧渗碳剂保

护热处理，控制好表面硬度，模具使用寿命可延长 1 倍多；将模具的热处理温度提高到 1150℃，模具寿命提高显著，比原来高 1.5 倍；在提高淬火温度下再对模具进行软氮化处理，模具寿命比原来常规处理的高 2 倍多（达 7500 件）。

1. 采用常规淬火温度处理的模具，其金相组织见图 3。晶粒细小，约为 9~10 级，碳化物颗粒的大小及分布不均匀，在晶界上碳化物聚集呈不连续的网状，有明显

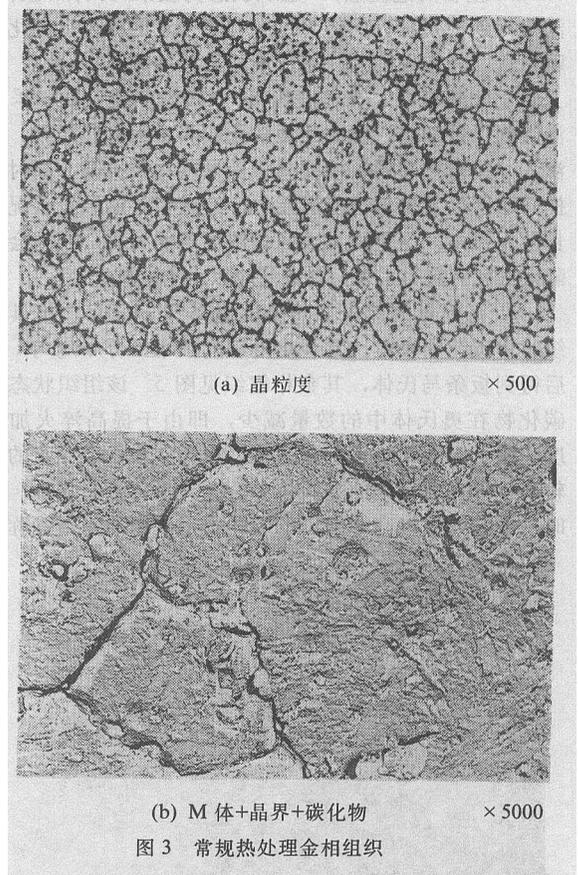


表 1 扳手模具和试样使用材料化学成分

元素	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	S	P
含量	0.3~0.4	<0.40	<0.40	2.20~2.70	7.50~9.00	-	0.20~0.50	>0.030	>0.030

表 2 不同工艺处理后模具寿命的比较

标记号	处理方法	热处理工艺	硬度	失效形式	平均寿命
工厂原采用的工艺	埋入式盐浴炉常规热处理	1060℃×40min, 570℃ 分级淬火 560℃×60min 盐浴回火	HRC 44~49	塑性变形、磨损、开裂	2000 件
W, Z, E, G	箱式电炉中旧渗碳剂保护处理	1080℃×110min 油淬 560℃×3h 回火两次	HRC 54~58	热疲劳裂纹 热磨损	4930 件
101, 151, 165, 166	埋入式盐浴炉强韧化处理	1150℃×40min 油淬 560℃×3h 回火两次	HRC 49~53	热磨损 热疲劳裂纹	5240 件
1, 6, 32, 33	强韧化处理+真空脉冲软氮化	1150℃×40min 油淬 600℃×3h 回火一次 600℃×4h 软氮化	HV200 958~1051	热疲劳裂纹 热磨损	7500 件

的角状。这些碳化物在固溶时均未溶解到奥氏体中。这种组织中合金元素的固溶强化和弥散强化作用很不充分。模具材料的强韧性未能充分体现出来。因此硬度较低，一般为 HRC44~49，在使用过程中常因过早塑性变形、磨损而失效。

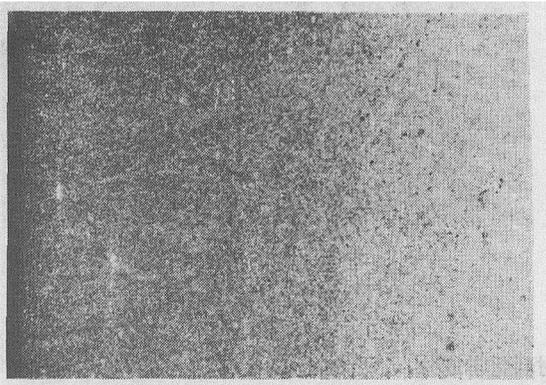
2. 采用 1080℃ 旧渗碳剂保护热处理后，模具型面硬度达 HRC54~58，金相组织见图 4。结果表明用旧渗碳剂保护的表面，渗入一层渗碳层，其深度约为 0.7mm（包括 0.2mm 左右的过渡层）。组织状态为板条马氏体+碳化物，淬火得到板条状马氏体，这有利于强度的提高。碳化物呈颗粒状，分布较均匀，无成堆或薄膜状碳化物存在，晶界上碳化物呈链状。晶粒度为 8~9 级。实践证明：采用旧渗碳剂保护加热，能有效地防止模具型面氧化脱碳，同时渗入一层薄渗碳层，使模具表面硬度得到提高，同时也可提高耐磨性及抗塑性变形能力，改善模具的服役状况，延长使用寿命。但是模具表面碳浓度不能太高，否则会大大降低热疲劳抗力。表面含碳量应以小于 0.5% 为宜。

3. 将模具的淬火加热温度提高到 1150℃，模具金相组织中碳化物颗粒比常规热处理的细小，分布均匀，淬火后得到板条马氏体，其金相组织见图 5。该组织状态说明碳化物在奥氏体中的数量减少，即由于提高淬火加热温度，固溶时碳化物大部分溶解，奥氏体中合金元素的含量较高。淬火后得到的马氏体中合金元素含量也较高，回火时，合金元素以高弥散度的碳化物形式析出，增强弥散强

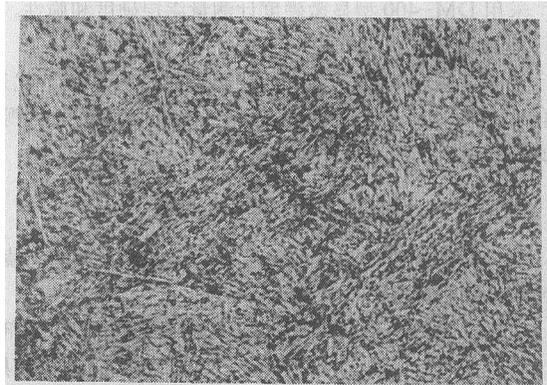
化效果，同时使析出的碳化物不易聚集长大，从而提高模具的强度和硬度，特别是高温强度和硬度，提高抗回火热稳定性。改善模具的耐磨性能和抗软化、变形能力，同时也提高断裂韧性和抗冷热疲劳能力，保留较适中的冲击韧性。经该工艺处理后，奥氏体晶粒较大，为 5~6 级。淬火回火后组织为索氏体+碳化物（图 5a、b）。模具寿命达 5240 件，提高 1.6 倍。

4. 采用真空脉冲软氮化处理，模具寿命进一步延长，达 7500 件，较常规热处理提高 2.5 倍。图 6 为不同温度真空软氮化渗层硬度梯度曲线；图 7~9 分别为 580℃、600℃、650℃ 真空软氮化渗层组织及测试显微硬度的压痕；表 3 为不同真空氮化温度对渗层的影响。测量渗层深度采用金相法和显微硬度法（比基体硬度高 HV30~50）对比评定。

由试验结果可知：随着温度升高，渗层表面硬度下降，600℃ 软氮化渗层硬度比 580℃ 的平均低 HV76，650℃ 软氮化渗层硬度比 600℃ 的平均低 HV230；渗层深度随着温度升高而增加（表 3）。不同处理温度的渗层中 650℃ 处理后硬度梯度平缓、渗层深、硬度不高；600℃ 处理后表面硬度较高，并且过渡层硬度梯度较平缓，渗层较深；580℃ 处理后表面硬度高，但渗层浅，硬度梯度较大（图 6）；渗层一般脆性均为 1 级。580℃ 渗层中白亮层较多，600℃ 和 650℃ 渗层白亮层较少。根据试验结果，选用了 600℃ 真空脉冲软氮化工艺。



(a) 旧渗碳剂保护后模具表面渗碳层 ×100



(b) 马氏体+碳化物 ×500



(c) 马氏体+碳化物 ×5000



(d) 马氏体+碳化物 ×5000

图 4 旧渗碳剂保护热处理金相组织

3Cr2W8V 钢经软氮化后由于氮、碳原子渗入，形成碳、氮化合物层和扩散层，使表层硬度提高，扩散层

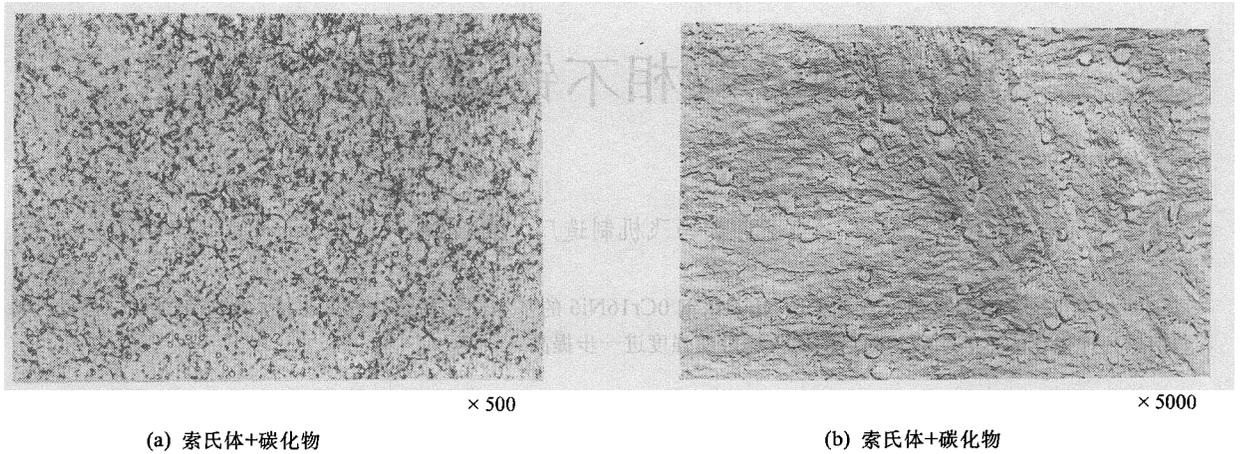


图5 盐浴炉热处理后金相组织

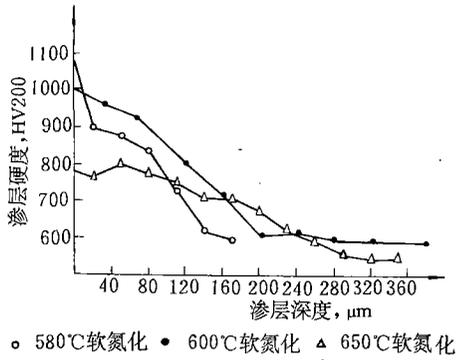


图6 不同温度真空软氮化渗层硬度梯度

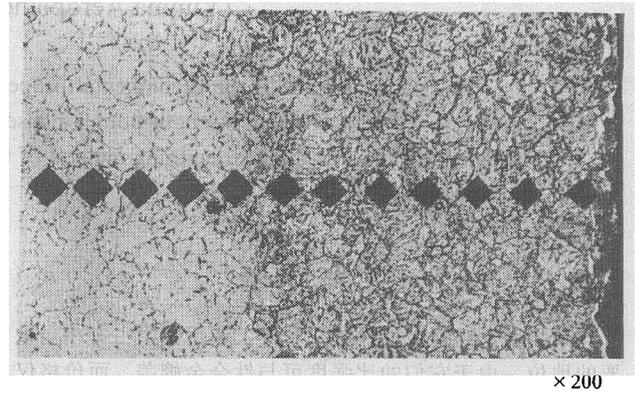


图9 650×4h真空脉冲软氮化渗层组织:微量白亮层+过渡层

表3 不同温度对渗层的影响

温度	580℃	600℃	650℃
软氮化层			
表面硬度 HV200	1086	1010	780
金相、硬度测得的渗层深度 (μm)	146	180	233
一般脆性	1	1	1

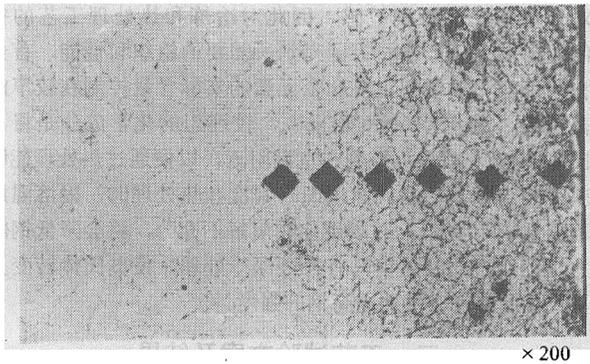


图7 580℃真空脉冲软氮化渗层组织微薄白亮层+过渡层

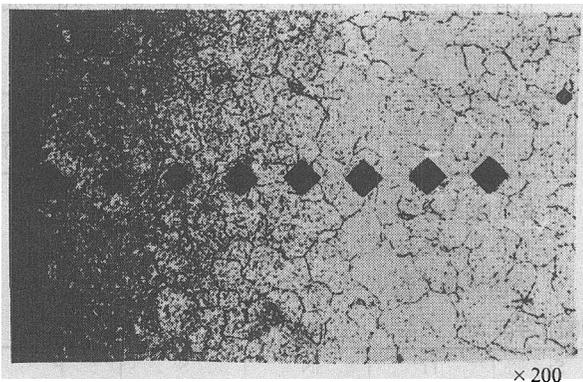


图8 600℃×4h真空脉冲软氮化渗层组织无明显白亮层+过渡层

中因氮、碳固溶而使渗层处于表面压应力状态,使表面疲劳强度提高。3Cr2W8V钢扳手模具经真空脉冲软氮化后,其耐磨性和抗咬卡、抗擦伤的性能都得到提高。模具在服役时,平均使用寿命显著延长,锻坯脱模容易,无粘模现象,从而大大提高生产效率,经济效益显著。

五、结论

1. 采用箱式炉旧渗碳剂保护加热,模具型面有一层约0.7mm的渗碳层,对提高模具耐磨性及抗塑性变形有利。
2. 提高加热淬火温度到1150℃,模具使用寿命延长1倍多。
3. 采用真空脉冲软氮化表面强化,能提高模具耐磨性和抗热疲劳能力,延长使用寿命,具有明显经济效益。

参考文献(略)