

②
71-76

几种高速钢使用性能的热扭分析

THERMAL TORSION ANALYSIS OF USE CHARACTERS FOR SEVERAL HIGH SPEED STEELS

吕立华 张德一
Lu Lihua Zhang Deyi
(重庆大学冶金及材料工程系)

刘荣运
Liu Rongyun
(重特特钢研究所)

TG142.45

摘要 采用热扭分析方法,模拟实际使用环境条件,测量 M_2 、 M_2Al 和 301 高速钢的弹性变形功和弹塑性变形功,发现 M_2Al 高速钢比 M_2 高速钢使用性能优良主要原因是它有更高的弹性变形功和弹塑性变形功。而 301 高速钢的弹性变形功和弹塑性变形功比 M_2 高速钢低得多,因此不适于制造机用刀具,说明热扭分析方法测定的弹性变形功和弹塑性功是准确评估高速钢的重要参数。

关键词 变形分析;热扭变;高速工具钢;弹性变形;塑性变形 / 弹-塑性变形功;热扭分析

中国图书资料分类法分类号 TG115.55;TG711

ABSTRACT The elastic deformation work (EDW) and elastic-plastic deformation work (EPDW) of M_2 high speed steel, M_2Al high speed steel and 301 high speed steel are measured by simulating the real use situations and using the thermal torsion analysis. It is found that the reason that the M_2Al high speed steel's use characters are superior to those of the M_2 one is that the former has higher EDW and EPDW. However, the EDW and EPDW of 301 high speed steel are much lower than those of M_2 one. So mechanical cutting tools can't be made from it. The results show that the EDW and EPDW measured with the thermal torsion analysis are the main criteria to evaluate the use characters of high speed steels.

KEY WORDS deformation analysis; heat deflection; high-speed tool steels; elastic deformation; plastic deformation / elastic-plastic deformation work; thermal torsion analysis

0 前 言

近年来陆续研制了一系列具有某些良好的特定使用性能的新型高速钢,但又无法确定用什么材料参数来反映这种使用性能。因此,为深入地从强化机理分析原因带来困难,如已经研制成功多年的 M_2Al 高速钢。

目前,用高速钢的常规性能综合测试和模拟实验与实际使用条件差距较大,测试结果常

常与实际使用效果有明显的差距。直接进行切削试验不仅费工费时,而且由于它是各种内外因素的复杂综合作用效果,往往反映不出一一种刀具材料本身的特性。故有人选用热扭分析法对高速钢的使用性能进行评价。该方法的优点在于它能在与刀具较接近的环境条件下,模拟刀具从受载到破坏的全过程,能测出多种钢种成份,组织结构相关的参数,与使用效果一一相对应。热扭分析法能确切地评估某一种高速钢在特定工艺条件下的使用特性,同时兼有省时、省工、设备简单等优点。

本试验工作选用三种有代表性的高速钢:通用型 M_2 高速工具钢,超硬型 M_2Al 高速工具钢以及低合金型 301 高速工具钢,对它们进行热扭分析,测定出与这些工具钢使用性能有关的重要参数,从而分析其中差别,为正确的选用高速钢的热处理制度,评估高速钢的优劣,揭示某些高速钢的强化机理提供证据。

1 实验过程

热扭地分析法是借用目前广泛应用测试金属高温塑性指数的热扭转试验方法进行的。用专用仪器测试并记录扭断前扭转过程的 $M = f(\alpha)$ 曲线,经过数学转换可变成剪应力 τ 与剪变形 r 关系曲线 $\tau = f(r)$ 。

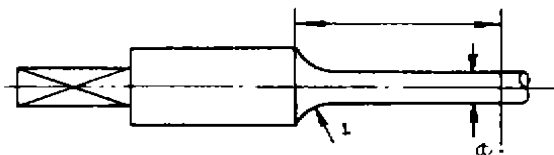


图 1 试样简图

扭转速度 30 转/分,扭转温度选定常规红硬性试验温度 600 C 和 650 C。选用某特殊钢厂生产的 $\Phi 18$ 钢,成份如表 1 所示,加工成扭转试样(如简图所示),分别按下列规范在工具厂进行热处理。

表 1 试验用钢的化学成份(%)

钢种	C	W	Mo	Cr	V	Si	Al	Mn	P, S
M_2	0.8	5.6	4.5~5.5	3.8~4.4	1.7~2.2				
M_2Al	1.10	5.5	4.5~5.5	3.8~4.4	1.7~2.2			1.0	
301	1.05	2.7	1.7	3.8	1.8	0.7~1.3	0.5~0.9	≤ 0.4	≤ 0.03

表 2 工具钢的热处理规范

钢种	淬火预热		淬火加热			冷却介质	回火制度 (每次1小时空冷)
	温度(C)	时间(分)	温度(C)	介质	时间(分)		
M_2	860	10	1200	盐浴	5	600 C 盐浴	550 C 回火3次
	860	10	1230	盐浴	5	600 C 盐浴	520 C 回火3次
	860	10	1230	盐浴	5	600 C 盐浴	550 C 回火3次
	860	10	1230	盐浴	5	600 C 盐浴	580 C 回火3次
	860	10	1240	盐浴	5	600 C 盐浴	550 C 回火3次
M_2Al	850	10	1220	盐浴	5	620 C 盐浴	550~560 C 回火3次
301	900	10	1240	盐浴	5	600 C 盐浴	550 C 回火3次

热处理后全部试样在工作带部份磨光至 $\nabla 7$ 再进行热扭转试验。

2 试验结果

所有试样在不同温度条件下热扭时获得的扭矩 M —转数 n 曲线或扭矩 M —剪应变 γ 曲线基本相似,如图2所示。但是,不同试样在不同热扭试验温度条件下记录曲线的弹性变形区 S_1 和塑性变形区 S_2 曲线的斜率并不相同。曲线下所包络的面积也不相同。曲线下所包络的面积可看作断裂前所需的总变形功,它包括弹性变形所消耗的变形功及弹塑性变形所消耗的变形功。

热扭试验是在常规红硬性试验温度 600C 、 650C 进行的,它不同于红硬性试验结果。红硬性试验是在某一额定载荷作用下造成的残余塑性变形,仅反映试验的结果(塑性变形结果)不反映从弹性变形、塑性变形材料的破坏全过程。热扭试验的特点是它能测出剪应力(它是刀具破坏的主要原因)作用下的变形及破坏全过程。热扭试验测定的曲线 $M=f(n)$ (可换算成 $M=f(\gamma)$ 曲线或 $\tau=f(\gamma)$ 曲线)不同段有不同的物理意义。图2曲线 AB 段是弹性变形阶段,在这个阶段刀具尚能保持原有的几何形状,维持其最小的切削阻力。 BC 段是弹塑性变形阶段,在该段由于高速钢是一种组织非常不均匀的材料,塑性变形首先产生在晶界、相界等局部应力集中区,并在该处出现微裂纹导致至剪切断裂,由于存在塑性变形用热扭曲线不同阶段的外力做功,比单纯用 $\tau=f(\gamma)$ 评估高速钢使用性能更能正确真实地反映实际情况。

对某一种高速钢刀具来说 AB 段直线下的面积 S_1 代表它保持几何形状的能力,这种能力的大小基本上由键结合力大小所决定。 BC 段曲线下的面积 S_2 (图2)代表材料塑性变形所消耗的功,其大小和 τ_{ra} 及 τ_{ma} 有关。

对某一种高速钢刀具来说 AB 段直线下的面积 S_1 代表它保持几何形状的能力,这种能力的大小基本上由键结合力大小所决定。 BC 段曲线下的面积 S_2 (图2)代表材料塑性变形所消耗的功,其大小和 τ_{ra} 及 τ_{ma} 有关。

热扭转试验记录曲线是 $M=f(n)$ 关系曲线,可以计算出屈服应力及剪切变形^[1],即:

$$\text{工作带圆柱表面开始屈服时: } \tau = \frac{2Me}{\pi R^3}$$

$$\text{工作带圆柱全体屈服时: } \tau = \frac{3Me}{2\pi R^3}$$

$$\text{工作带圆柱最大剪切抗力值: } \tau_{\max} = \frac{3M_{\max}}{2\pi R^3}$$

工作带纯扭转剪切变形值:

$$\varphi = R \cdot \theta = R \cdot \frac{\psi}{l} = R \cdot \frac{360n}{l} \text{ 度} = R \frac{2\pi n}{l} \text{ 弧度。}$$

式中: Me : 扭转变形达到比例极限时之扭转力矩;
 M_{\max} : 扭转变形达到断裂瞬间时之扭转力矩;
 τ : 扭转变形达到比例极限时之剪切抗力;
 τ_{\max} : 扭转变形之最大剪切抗力;
 R : 扭转试样工作带半径;

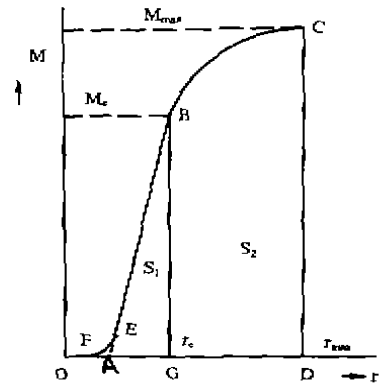


图2 扭转力矩(M)—扭转变形(τ)关系曲线

- l : 扭转试样工作带长度;
 ϕ : 扭转试样工作带相对扭转角;
 ω : 扭转试样工作带单位扭转角;
 γ : 扭转试样工作带表面处之剪应变;
 n : 记录曲线相对于不同扭转力矩之时扭转圈数。

曲线下所包络的面积 S_1 和 S_2 可直接由记录曲线用图形解析法和数学解析法求出。全部试验数据如表3所示。

表3 工具钢热扭转实验数据

钢种	热处理条件 C	扭转温度 C	γ_e	γ_{max}	τ_e	τ_{max}	扭转曲线包各面积			高温显微硬度 Hv	回火硬度 HRC
							S_1	S_2	S		
M ₂	淬火1230	650	0.03	0.04	935	1125	85.5	69.2	154.7	73	67
	回火550	600	0.03	0.05	947	1184	85.5	150.2	236	99.9	
	淬火1230	650	0.04	0.10	1139	1493	182.3	410.9	593.2		
	回火520	600	0.05	0.15	1350	1569	162	344	506		
	淬火1230	650	0.05	0.09	1139	1493	166.5	458.6	625.1	61.7	65.5
	回火550	600	0.04	0.18	1139	1493	221	923	1144	96	
	淬火1230	650	0.03	0.01	1000	1186	129	699	828		
	回火580	600	0.03	0.07	1054	1504	126	559	685		
	淬火1240	650	0.04	0.06	1088	1327	165.6	266.7	423.3	85.4	65.4
	回火550	600	0.02	0.06	1165	1595	69	404.6	473.6	92.5	
301	淬火1240	650	0.04	0.07	1116	1519	135	338.5	473.5		
	回火550	600	0.01	0.10	1056	1551	135.5	551.8	687.3		
M ₂ Al	淬火1230	650	0.04	0.08	1165	1493	149.6	374	523.6		67
	回火550	600	0.04	0.10	1051	1494	143.6	583.5	727.1		

- 注: 1. 表中剪应力单位 MPa; 扭转曲线包络面积 S_1, S_2, S 单位 mm^2 。
 2. 高温显微硬度值测试状态为: 测试温度保温10分钟, 负荷50g, 加载速度10g / sec, 加载保持时间30sec。
 3. S_1, S_2, S 系同一实验测试条件下, 将记录曲线与横座标所包络的面积, 用图形解析法计算出, 它不等于弹性变形及塑性变形功, 但它与变形功成比例变化, 因此可以用 S_1, S_2 对实验材料的使用性能进行定量比较。

3 结果讨论

3.1 M₂高速钢

表3中的数据反映如下规律

(1) 1230 C 淬火, 520 C 回火, 在650 C 热扭试验记录时具有最大的 $\tau_e = 1139\text{MPa}$, $\tau_{max} = 1493\text{MPa}$, 而 $S_1(182.3\text{mm}^2)$, $S_2(410.9\text{mm}^2)$ 较小。

(2) 1240 C 淬火, 550 C 回火, 在600 C 热扭试验记录时有最小的 $S_1(61\text{mm}^2)$, 而 τ_e / γ_e 比值较高。

(3) 1230 C, 550 C 回火, 在600 C 热扭试验记录时具有最大的 $S_1(221\text{mm}^2)$, $S_2(923\text{mm}^2)$, 和总面积 $S(1144\text{mm}^2)$ 。

上述第一种热处理制度(1230°+520°C),实际上就是M₂钢车刀为提高红硬性采用的热处理制度。从热扭试验分析结果来看,这种热处理的实质(可以说车刀的要求)就在于牺牲S₂的条件下提高S₁,因此用热扭分析法比用红硬性测定更能清楚地说明问题的实质。

采用上述第二种热处理制度(1240°C+550°C)则增大了基体中合金元素及碳的固溶度,从理论上讲应该有可能提高S₁以及 τ_c/γ_c ,实验表明, τ_c/γ_c 有极大值和理论预计一致,但S₂却有极小值,这是因为这种热处理制度的固溶温度太高从而发生过热,破坏晶界强度,所以该热处理制度没有实用意义。这是用一般红硬性测量方法所反映不出来的。

上述第三种热处理制度是M₂高速钢铣刀及锯条等刀具采用的常规热处理制度。热扭数据表明,在较低的温度下(600°C),它兼顾了S₁、S₂两方面的要求。因此能很好满足铣刀等这些切削速度中等,但有周期性冲击载荷的刀具要求

3.2 M₂AL 高速钢

对比表3中的数据可以看出:在相同的热处理制度条件下(1220°C淬火,550°C回火)M₂AL的 τ_c 、 τ_{max} 、S₁、S₂,以及S₂/S₁均比M₂钢大,其相对增量如表4所示

表4 M₂AL 钢性能相对 M₂钢的增量(%)

试验温度°C	τ_c	τ_{max}	S ₁	S ₂	S ₂ /S ₁
600	11	26	61	260	25
650	19.4	33	75	440	57

上述结果说明,M₂AL高速钢刀具具有在高温切削条件下无论是保持刀具几何形状的能力(S₁),吸收弹塑性变形功阻止裂纹形成及扩展的能力(S₂)都明显优于M₂高速钢。而且随试验温度的提高这种优势更为明显。

M₂AL是一种高碳高速钢,由于碳在基体中以弥散碳化物形式形成的强化作用,M₂AL高速钢比M₂高速钢具有更高的 τ_c 、 τ_{max} ,是自然的。但是如何解释M₂AL高速钢具有如此高的S₁、S₂和S₂/S₁呢?根据已经进行的研究工作表明^[3],高速钢中的AL主要集中在相界和晶界附近,从而提高相界和晶界区域的塑性,使发生在这些区域的应力集中得到松弛,在吸收较大的弹性能及弹塑性能的情况下才发生局部裂纹形核及扩展。这就意味着M₂AL高速钢具有比M₂高速钢更好的抗周期载荷及热软化能力。因此,热扭分析法很清楚的揭示了用其他试验方法无法得到的铝高速钢这一优良特性。

3.3 301高速钢

301高速钢碳含量超过定比碳较多时,仅高温淬火才能充分发挥碳作用。1240°C淬火、550°C回火的301高速钢的 τ_c 、 τ_{max} 值可以达到M₂高速钢正常热处理制度(1230°C淬火)下的相应值。上述热处理制度下301高速钢热扭曲线的S₁、S₂则比正常淬火的M₂高速钢分别低59%和53%。这说明301高速钢在牺牲S₁、S₂条件下才勉强达到和M₂高速钢相当的 τ_c 、 τ_{max} 值。因此,301高速钢不适合于制造较高的切削速度下的机用刀具。这一结果可以根据301高速钢是一种合金比为11%的低合金高速钢这一原因予以解释。

4 结 论

1) 热扭分析法能获得变形功数据(S_1 和 S_2),对它们进行分析就能较确切的评估一种高速钢的实际使用性能,从而揭示了高速钢的某种特性。

2) 热扭分析法发现, M_1 -AL 高速钢比 M_2 高速钢更为优良的原因是因为 M_1 -AL 钢具有高的弹性应变能 S_1 和弹塑性应变能 S_2 ,而且随试验温度的提高,其差别更明显。

3) 热扭分析法表明,301 低合金高速钢的弹性应变能 S_1 和弹塑性应变能 S_2 都比 M_2 高速钢低得多,不适于制造较高速度条件下使用的机用刀具。

4) 热扭分析法针对不同热处理制度测定的变形功数据($\tau_e, \tau_{0.2}, S_1, S_2$)也能准确的反映出不同刀具使用条件的物理性能要求。

参 考 文 献

- 1 徐秉业,陈森灿,塑性理论简明教程,北京:清华大学出版社,1982
- 2 汪大年,金属塑性成型原理,北京:机械工业出版社,1982
- 3 R. A. C. 斯莱特,工程塑性理论及其在金属成型中的应用,机械工业出版社,1983
- 4 张如一,陆耀楨,实验应力分析,北京:机械工业出版社,1986