

WC-Co 硬质合金的加工残余应力^①

钱崇梁 吴恩熙 吕海波

(中南工业大学)

陈瑞琨 余振辉 伍春华

(株洲硬质合金厂)

摘 要

用X-射线衍射法测定了WC-6 wt.-%Co硬质合金工件磨削加工表面的第Ⅰ类残余应力,研究了不同加工和对应力的影响,用电解剥离法测定了表面应力的层深分布,对残余应力与合金寿命的关系作了初步探讨。

关键词: 残余应力 硬质合金 X-射线衍射

硬质合金工件通常都要作深加工处理,文献[1]指出这种加工产生的第Ⅰ类残余应力对工件的强度和使用寿命有明显的影。因此,测定硬质合金的加工应力有很大的实际意义。本文介绍了WC-Co硬质合金表面残余应力的测量方法,系统地研究了磨削加工量、自然时效时间、退火温度及时间等因素对残余应力的影响,并用电解逐层剥离法测定了加工表面应力的层深分布。在此基础上,对用于高压人工合成金刚石装置的硬质合金“顶锤”工件,在实际使用时所受应力的状况下,就表面残余应力对使用寿命的影响进行了初步探讨。

1 残余应力的测量方法

由于一般金属元素具有较大的X-射线吸收系数,故用X-射线法测得的仅仅是试样表面层中的残余应力。本文只研究第Ⅰ类残余应力,即宏观应力。根据X-射线应力测量原理,只要测出试样表面某个方向的表面层中不同取向晶粒的某同一晶面的间距变化,就可按下式算出该方向上的残余应力值^[2]。

$$\sigma_{\varphi} = -\frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \operatorname{ctg} \theta \cdot \frac{\varphi(2\theta_{\psi})}{\varphi(\sin^2 \psi)} \quad (1)$$

式中 φ ——测定应力的方向与平面主应力方向的夹角;

ψ ——试样表面法线的偏转角(见图1);

$2\theta_{\psi}$ ——在给定 ψ 角下测得的某晶面衍射线的衍射角(见图1);

E 和 ν ——分别是被测物相相应晶面的弹性模量和泊松比。

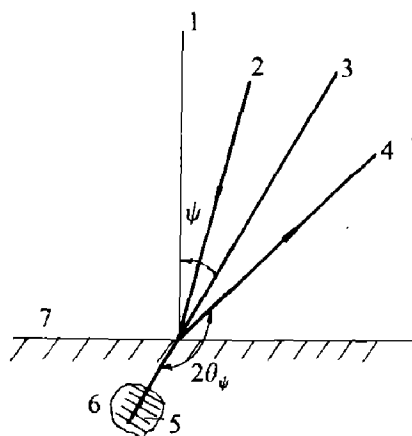


图1 应力测量的衍射几何

1—试样表面法线; 2—入射线; 3—晶面法线;

4—衍射线; 5—衍射晶面; 6—晶粒; 7—试样表面

①本课题属中国有色金属工业总公司“七五后两年国家重点企业技术开发计划”经费资助项目; 于1992年4月6日收到

用普通的粉末 X-射线衍射仪进行研究,采用发散光束入射的准聚焦法、CuK α 辐射-石英弯晶单色化、发散狭缝 1(°)、接收狭缝 0.3 mm,测定 WC 相(212)晶面的衍射线,2 θ 步进扫描范围 149~158(°),步长 0.2(°)、定点计数时间为每次 10 s, ψ 角取 0、15、30、45(°)四点。所得数据由计算机进行处理:曲线平滑、罗仑兹-偏正因子校正、吸收因子校正、多点抛物线拟合定峰位 2 θ_{ψ} 、最小二乘法线性回归求斜率 $M=\partial(2\theta_{\psi})/\partial(\sin^2\psi)$,最后代入(1)式计算出应力值 σ_{φ} 。取 $E=534\ 400$ MPa, $\nu=0.22^{[3]}$ 。

2 实验方法及结果

2.1 进刀量、磨削量对残余应力的影响

将 YG6 硬质合金试样用金刚石砂轮平面磨床磨削,改变进刀量和磨削量,随后测定它们的表面残余应力,取多次测量的平均值列于表 1。

表 1 磨削进刀量和磨削量不同的试样及其残余应力*

样号	进刀量 / mm	磨削量 / mm	残余应力 σ / MPa	σ / Mpa
0	0	—	-3.0	-3.0
1	0.01	1.50	-1 267.3	-1 103.0
2		1.00	-1 041.0	
3		0.40	-1 0001.2	
4	0.02	2.00	-1 232.8	-1 142.3
5		1.00	-1 051.7	
6	0.04	0.60	-1 356.3	-1 199.5
7		2.30	-1 051.6	
8		0.70	-1 190.5	
9	0.05	1.50	-1 137.7	-1 229.6
10		0.80	-1 254.5	
11		0.50	-1 296.6	

* 所有残余应力数据都在磨削表面上沿磨削方向测定

从表 1 可见,磨削加工后残留在磨削表面层内的应力为压应力,其值随磨削进刀量的增大而增加;但总磨削量与应力之间似乎没有明显的依赖关系。

2.2 自然时效对残余应力的影响

将一块线切割的 YG6 硬质合金试样作一

次大进刀量磨削加工,并立即测定其磨削面的残余应力。随后在室温下长时间放置(自然时效),且每隔一段时间重测一次残余应力,每次测量时都保证使 X-射线束准确照射在该试样表面的同一个区域上,从而使所测数据具有可比性。还将大块硬质合金顶锤工件安装在特制的试样台上进行类似的自然时效和应力测试,结果一并列于表 2。显然,自然时效不可能使磨削应力发生弛豫。

表 2 磨削加工后样品自然时效中的残余应力 MPa

自然时效天数	小块试样	大块顶锤工件
0	-1 129.1	-1 137.9
10	-1 127.2	—
165	-1 072.1	—
200	-1 110.4	—
220	-1 157.9	—
250	-1 067.5	—
360	—	-1 133.5
410	-1 246.4	-1 155.5

2.3 低温退火消除残余应力

经磨削加工后的试样置于管式炉中通氢气保护加热退火。加热温度依次为 200、300、350、400 和 450℃,每次加热的保温时间分别为 0(磨削态)、1、2、4、8、16 h(200℃退火延长到 48 h),每次保温期满后都从炉中取出试样测量残余应力(取两次测量的平均值代表该次测量的结果),测完后又放回炉中进行下一步延时保温和测试。全部试验是用同一块硬质合金试样进行的,而且每次测量都确保 X-射线束准确地照射在试样表面同一个区域上。做完一个温度级的六步保温退火后,重新磨削一次再做下一个温度级的六次不同时间的保温退火。如是重复,直至五级加温的各六步保温、测试完成为止,所得结果列于表 3 中,为了使不同温度级的数据具有可比性,图 2 中将每个温度级的磨削态应力归一化为 100%。

从图 2 可见,低温退火能有效地消除磨削表面的残余应力。温度愈高,消除得愈快。随退火时间的延长,应力消除的速率减慢,最终仍保持着一定的应力值。

2.4 表面应力的层深分布

按表 4 条件电解,逐层剥离磨削表面。用

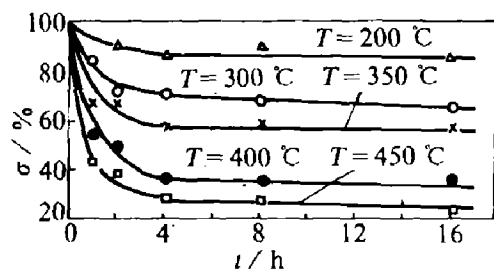


图2 残余应力(σ)—退火时间(t)—温度(T)的关系曲线(归一化结果)

表3 经不同温度(T)—时间(t)退火处理的应力 σ 测量结果 MPa

t/h	$T/^\circ\text{C}$				
	200	300	350	400	450
0	-1 341.8	-1 028.0	-1 198.4	-1 155.0	-1 116.5
1	—	-867.5	-794.0	-614.4	-488.0
2	-1 241	-722.1	-818.0	-562.7	-437.7
4	-1 168.4	-726.0	-674.2	-411.4	-298.4
8	-1 220.9	-559.6	-705.6	-399.4	-303.7
16	-1 127.3	-663.0	-676.6	-426.2	-247.6
32	-972.8				
40	-997.9				
48	-953.0				

表4 硬质合金逐层电解剥离的实验条件

电解液	电解剥离相	电压 / V	电流 / A	每次电解时间 / min
10 % NaOH	WC	1.9	0.1	10
10 % HCl	Co	0.7	0.1	2

万分之一天平测得电解后试样的失重,可计算出电解剥离层的厚度,每次电解剥离后作X-射线应力测量。结果示于表5中。

3 讨论

根据X-射线有效穿透深度的概念^[4],对YG6合金而言,用X-射线法测出的应力是厚度约为6 μm 的表面层内材料应力的平均值。由表5可知,离磨削表面5 μm 处的应力就下降到磨削表面的一半。所以,可以设想未电解的磨削表面极薄层内的压应力将远比1 236 MPa大得多。文献^[1]中详细地综述了金刚石砂轮磨削加工WC-Co硬质合金表面所产生

的第I类残余应力对材料强度和寿命的影响,指出表面层压应力将会提高抗拉、抗弯强度和使用寿命,而假如表面层下压应力迅速减小转变成拉应力的话,将会明显地降低材料的强度和寿命。显然,在硬质合金用作切削刀具和承受拉应力或剪切应力时,表面压应力的存在是一种有利因素。

表5 YG6硬质合金磨削表面应力的层深分布

电解测量次数	失重 / g	层深 / μm	应力 σ / MPa
1	0	0	-1236.0
2	0.0173	4.82	-576.6
3	0.0466	12.98	-448.5
4	0.0938	26.12	-204.2
5	0.1270	35.37	-177.6
6	0.1740	48.46	-179.0
7	0.2211	61.58	-112.0
8	0.2611	72.72	-154.7

硬质合金顶锤工件的全部外表面都进行了磨削加工,在高压合成金刚石装置中使用时,它处于很复杂的应力状态下,其顶端面承受高压作用而其侧面承受的是拉应力。实践中观察到大多数顶锤都是从侧表面发生开裂,最终导致整个工件的破坏。可以设想表面磨削加工产生的压应力能够抵消一部分外力而提高工件的寿命。但是,另一方面,由于Co的热膨胀系数比WC的大两倍,所以从烧结温度冷却下来时,烧结态工件中存在着很大的热应力,且两相中热应力的符号相反。WC相中的热应力是压应力而Co相中的是拉应力。Co含量愈低,这种拉应力愈大^[1]。众所周知,粘结相是硬质合金的主要破坏相,因此,存在于Co相中的很大的热应力是很不利的因素,为此必须设法消除它。可见既要消除烧结态合金中存在于Co相中的拉伸热应力,又要尽可能保留表面磨削加工产生的压应力。目前,工业生产中通常采用两种经验方法:(1)将刚烧结且经磨削加工好的顶锤工件在库房搁置长达三个月以上再装机使用;(2)将工件在较低的温度(250 $^\circ\text{C}$ 左右)下退火48 h以上。本工作的实验数据指出,自然时效,并不会消除表面加工的残余压应力,但长时间的搁置对工件内部

符号相反的两相热应力的弛豫可能有帮助。低温退火,既可能消除热应力也会消除一部分加工残余应力。所以,理论分析和实验数据证实了这两种经验方法的效果都是肯定的。

4 结论

(1) 硬质合金磨削加工表面的残余应力为压应力,其值约 $-1\ 000\sim -1\ 300\text{ MPa}$;

(2) 表面磨削加工应力随磨削进刀量的增加而增大,但增加幅度不大;

(3) 室温自然时效对表面磨削应力无明显的松弛效应,而低温退火能有效地消除此残余应力;

(4) 在高压状态下工作的顶锤工件,可用长时间自然时效或低温退火方法松弛其烧结热应力,同时又保留较多的表面加工的压应力,以期延长使用寿命。

参考文献

- 1 黄鹤嘉(译). 硬质合金的强度和寿命. 北京:冶金工业出版社, 1990. 237-258, 11-16.
- 2 李树棠. 金属X射线衍射与电子显微分析技术. 北京:冶金工业出版社, 1980. 154.
- 3 杨于兴等. X射线衍射分析. 上海:上海交通大学出版社, 1989. 213.
- 4 杨于兴等. X射线衍射分析. 上海:上海交通大学出版社, 1989. 103.

(上接第49页)

要仔细规划出一个组织机构,以便于从地方上取得重要的输入和将具体资料输出。学会将是产生各种思想的催化剂,培养它们,但不忽略我们传统的活动,它包括保证在现有材料中占主流(可能占材料使用量的95%)的领域中工作的会员的利益得到学会的良好服务。我们将试行团体会员制以发展与工业公司的密切关系。

我们是欧洲材料学会联盟(FEMS)的会员,并将通过我们在世界上的双边关系,在国际上起作用,在东欧、西欧、南非和其他地区都有机会。

业已提出建议,学会要向政府及其机构提出政策建议并加以协调。对此,将积极考虑并

谨慎地开展。

我们有一个出色的印刷部门,它负责出版书籍、学术和其他刊物、以及教学软件。有适当机会时,出版活动将要扩大。

希望我能表达出令我激动的一些事物,涉及材料科学与材料工程的现状以及我们同行和学会所面临的挑战和机遇。我们已经取得了一些成就,但还要为社会作出更大的贡献。希望这是有意义的,要为此争取时间,但愿你们通过这次演讲能更好地了解英国的材料现状。其中,大体上也告知了内部的讨论内容,我想你们也一定会对这些问题进行讨论。

(袁建明, 李宜译, 褚幼义校)