



粉末冶金制品(硬质合金、过滤器除外) 表面粗糙度评定方法分析

马华农

(北京市粉末冶金研究所, 北京 100075)

摘要 表面粗糙度是反映粉末冶金制品(硬质合金、过滤器除外)质量的重要指标之一。现有的国标 GB1031—83 不适合粉末冶金制品表面粗糙度的评定。本文介绍了使用斧刃形触针测头定量评定粉末冶金制品表面粗糙度的方法。

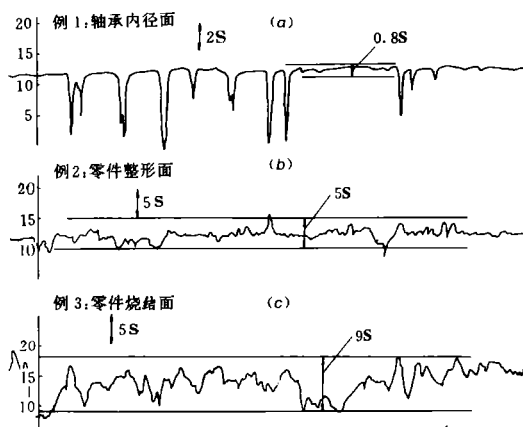
主题词 粉末冶金制品 表面粗糙度轮廓仪 测头

1 定量评定粉末冶金制品表面粗糙度的提出

机械零件的表面粗糙度按国家标准 GB1031—83《表面粗糙度 参数及其数值》定量评定,而粉末冶金制品具有孔隙结构,因此该国标不适合粉末冶金制品。随着机械工业的发展和对外技术合作的扩大,对粉末冶金制品提出了定量评定的要求。制订定量评定粉末冶金制品表面粗糙度的方法势在必行。例如,希望含油轴承在经过最后加工后留下的加工痕迹尽可能小,而获得平滑表面,以使在运转时有利于油膜形成,降低摩擦系数,减少噪声;但是在实际应用中含油轴承表面的平滑程度并不是越高越好,需要给出表面粗糙度一定的量值。

粉末冶金制品表面粗糙度的评定目前还没有国际标准,只是先进工业国家某些企业有一些评定方法。如日本住友电气工业株式会社粉末冶金事业部和日立粉末冶金株式会社,用触针法测量烧结合金表面粗糙度。其方法是,绘制出表面轮廓曲线,对该曲线作适当处理,即去除孔隙部分,然后计算轮廓的顶峰

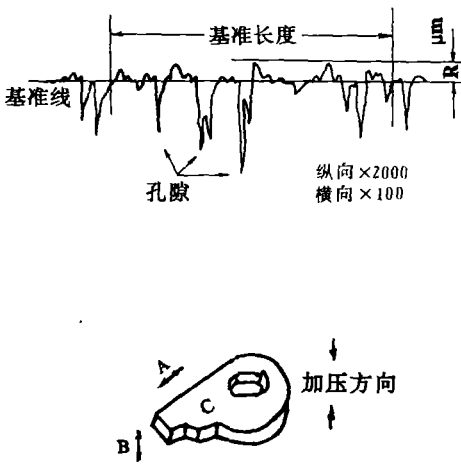
到谷底之间的数值,用 $R_{\max}$ 表示表面粗糙度,见图 1 和图 2^[1~2]。



零件状态	粗糙度	相当于中国 Ra(GB1031—68)
轴承内外径面	3S 以下	0.63(▽8)
零件整形面	6S 以下	1.25(▽7)
零件烧结面	12S 以下	2.5(▽6)

图 1 触针法测量粉末冶金制品表面粗糙度图例(日本住友电工)

Fig. 1 Surface roughness of P/M products with trigger edge(Suimitomo Electric in Japan)



测量位置	A	B	C
表面粗糙度	12. 5S	6. 3S	6. 3S
相当于中国 Ra (GB1031-68)	2. 5 (▽6)	1. 25 (▽7)	1. 25 (▽7)

图 2 触针法测量粉末冶金制品表面粗糙度图例(日本日立)

Fig. 2 Surface roughness of P/M products with trigger edge(Hitachi Co. in Japan)

2 粉末冶金制品的孔隙特征

GB1031-83 中 5.4 节规定:“对表面粗糙度的要求不适用于表面缺陷。在评定过程中不应把表面缺陷(如沟槽、气孔、划痕等)包括进去,必要时,应单独规定表面缺陷的要求”。据此,对具有表面孔隙的粉末冶金制品应单独规定如何计算表面孔隙的原则。

用通用表面粗糙度仪,以触针针尖半径为 2μm 的测头测量各种粉末冶金制品的表面粗糙度,并绘制出表面形貌曲线、统计出各类孔隙的尺寸及数量,结果见表 1。被测制品有铜基、铁基含油轴承及铁基结构件,零件来自德国、日本和我国。被测表面为整形后的内、外径面,整形压制面,烧结内、外径面,烧结压制面,发黑处理面和机加工面。测量方向为压制方向和垂直压制方向,并用扫描电镜观察各种表面的形貌,见图 3。

从表 1 可见,制品的整形面,压制面的孔隙尺寸一般为 60μm 以下,其数量占总孔隙的 90%以上,其中 20~40μm 的占 40%~50%。而制品机加工面的孔隙,≤20μm 的占 60%或更多。这一点从图 3 中也可反映出来。

表 1 各种表面孔隙尺寸及所占比例, %

Table 1 Typical pores size in surface and proportions as accounts number

孔隙直径, μm	≤20	20~40	40~60	60~80	80~100	>100
整形压制面	18.5	46.7	23.2	5.4	4.4	1.9
整形内径面(平行压制方向测量)	31.0	36.9	21.5	4.7	4.1	1.8
整行外径面(平行)	23.3	40.6	22.6	6.0	4.5	3.0
整形外径面(垂直压制方向测量)	28.4	37.7	25.5	4.2	3.5	0.6
机加工面	79.2	0	16.7	4.2	0	0
烧结压制面	22.3	48.4	21.7	5.7	1.9	0
烧结内径面(平行)	17.4	41.3	32.6	4.3	4.3	0
烧结外径面(平行)	34.5	42.5	18.4	3.4	0	1.1
烧结外径面(垂直)	20.0	48.9	24.4	4.4	2.2	0
压制面(发黑)	5.1	42.4	23.7	10.2	10.2	8.5
内径面(发黑)	9.1	61.8	18.2	9.1	1.8	0
外径面(发黑)	8.8	63.2	19.3	7.0	1.8	0
机加工面(发黑)	57.1	35.7	7.1	0	0	0

另外,有资料报导^[3],含油轴承最大孔隙直径为 100~150μm,每平方毫米约有各种孔隙 10~15 个(这个数据与上述测量结果基本一

致)。60μm 以下的孔隙大多是深孔,起着贮油的功能,在与对偶件相对运转过程中,并不直接与对偶件表面接触,表面粗糙度所产生的

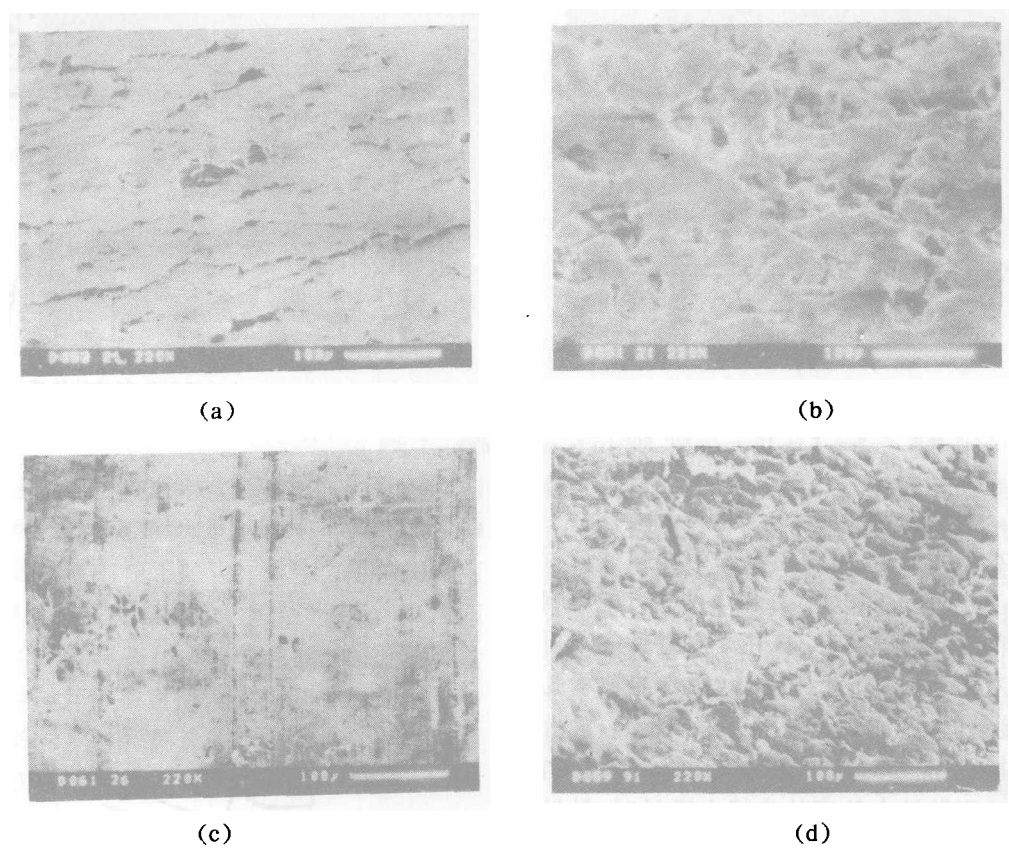


图 3 典型表面形貌扫描电镜照片
(a) 整形内径面(平行压制方向) (b) 整形压制面 (c) 机加工面 (d) 压制面(发黑)
Fig 3 SEM photo of typical surface morphology

影响与这些孔隙无多大关系。因此,这些孔隙不应参与粉末冶金制品表面粗糙度的计算。

3 四棱锥体触针测头适用性分析

目前测量制品表面粗糙度用得最广泛的方法是触针式截面轮廓法,即用一个尖细的触针在被测表面上划过,经机电转换显示出表面粗糙度值。表面粗糙度仪的触针通常为尖端呈圆弧形的圆锥体或是一个尖端截平的四棱锥体(图 4)。在使用过程中,因磨损而使尖端变平,所以这两种触针的形状差异就不明显了。为加工方便,一般采用四棱锥体触针

测头。

由 GB6062—85《轮廓法触针式表面粗糙度测量仪 轮廓记录仪及中线制轮廓计》,触针针尖半径最小为 2μm,扫描时针尖能触到细微加工痕迹的谷底,这样,也将粉末冶金制品表面的孔隙绘制到轮廓曲线上,参与粗糙度数值的计算。因此,四棱锥体触针测头不宜粉末冶金制品表面粗糙度的测定。

GB1031—83 中 3.2 注中规定:“在常用的参数值范围内(Ra 为 0.025~0.63μm;Rz 为 0.100~25μm)推荐优先选用 Ra”,Ra 为轮

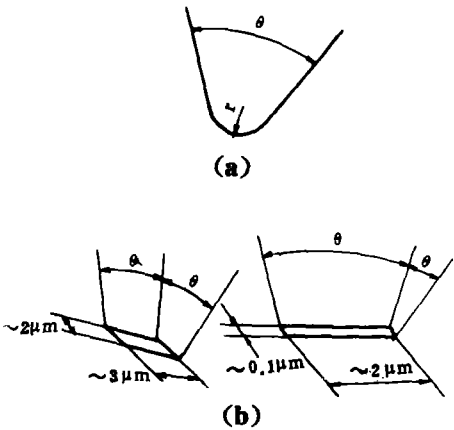


图 4 触针针尖形状示意图

(a) 球形 $\gamma=2\mu\text{m}, 5\mu\text{m}, 10\mu\text{m}; \theta=60^\circ, 90^\circ$
(b) 四棱锥形

Fig. 4 Schematic diagram of the form of trigger tip

廓算术平均偏差,可使用较大半径触针进行测量。触针的有限尺寸在以下两个方面影响被测轮廓的精确度^[4]:① 由于触针针尖不可能绝对尖锐,当触针与深谷(如含油轴承孔隙)接触时,不能完全伸到谷底(图 5),触针半径越大,测量时所纪录的偏移越小。② 当一个球形触针在轮廓的尖峰上滑过时,触针移动的轨迹不出现实际轮廓的峰尖,而是较平坦的曲线,触针轨迹与轮廓尖峰对应处呈圆弧状,但这时测出的峰高(c)还是真实的。由此可见,当触针半径较大时,不影响作为轮廓算术平均值的 R_a 的结果。

4 斧刃形触针测头的形状和特点

由文献[4]可知,英国 Telysurf 表面粗糙度仪带有斧刃形测头,用于测量刀片(剃须刀)刃口轮廓,提供刃口质量的直观显示,见图 6。

由上所述,测定粉末冶金制品表面粗糙度时,贮油孔(孔径 $<60\mu\text{m}$)不应参与表面粗糙度的计算。选择一定尺寸的斧刃形触针就能满足上述要求,并保证测量结果准确。斧刃形触针形状和尺寸见 GB/T 12767-91《粉末冶金制品 表面粗糙度参数及其数值》。触针的斧刃方向与触针的运动方向垂直,以保证

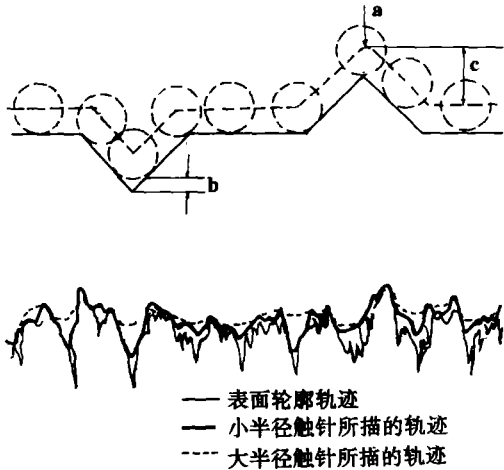


图 5 触针运动轨迹对表面轮廓的反映

Fig. 5 Influence of radius of trigger tip on surface profile

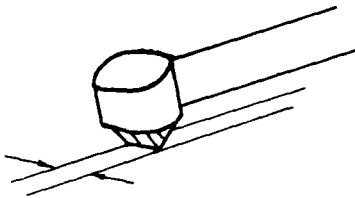


图 6 英国斧刃形触针

Fig. 6 English axe form trigger edge

刃口运动时对表面形貌的细微结构有一定的分辨能力。触针的静态测量力和静态测量力变化率按 GB6062-85《轮廓法触针式表面粗糙度仪 轮廓记录仪及中线制轮廓计》中 3.3 节推算,分别为 $224 \times 10^{-4}\text{N}$ 和 1120N/m 。刃口的半径按美国标准 ANSIB461-1978(8)推荐的逼近法计算^[5],触针半径约为 0.002mm ,刃口宽度为 0.070mm ,针尖角度约为 95° ,其电镜照片如图 7 所示。斧刃形测头在测量过程中,不会进入 $60\mu\text{m}$ 以下的孔隙,从而将其影响排除。

5 斧刃形触针测量表面粗糙度数值的验证

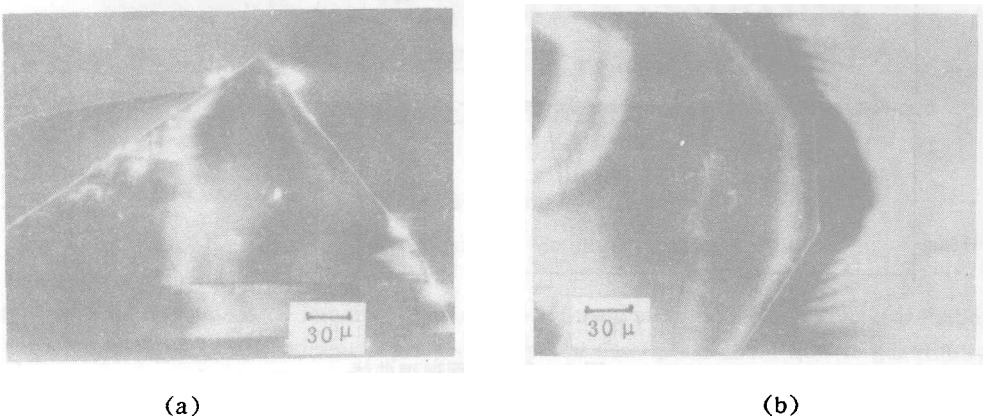


图 7 斧刃形触针电镜照片

Fig. 7 SEM photo of trigger

斧刃形触针测头安装在某厂生产的 2201 型表面粗糙度仪上,该仪器附带 Ra 样板作为仪器的校正样块。样块由矩型沟槽组成,沟槽深度为 0.80μm,间距为 25μm。用四棱锥形触针测头和斧刃形触针测头分别测量 Ra 样板,其结果为:

斧刃形触针测量 Ra=0.366μm
四棱锥触针测量 Ra=0.341μm
Ra 样板标定值 Ra=0.36μm
斧刃形触针测量误差为 1.67%,四棱锥

针尖测量误差为-5.28%,都在 2201 型仪器示值误差范围±10%之内。触针式轮廓仪测量表面粗糙度是将三维结构形貌简化为二维评定,Ra 样板的沟槽相当于机加工纹理,从斧刃形触针对 Ra 样板的测量结果看,该测头仍可用于致密金属材料机加工表面粗糙度的测量。

用两种测头分别测量制品同一表面的粗糙度,其结果见表 2。

表 2 四棱锥形触针和斧刃形触针 Ra 值测量结果比较

表 面 类 别	斧刃形触针所测 Ra 值					四棱锥形触针所测 Ra 值				
	I	II	III	平均值	相当于 GB1031 -68	I	II	III	平均值	相当于 GB1031 -68
整形内径面(平行压制方向测量)	0.221	0.127	0.147	0.156	▽9	0.519	0.632	0.852	0.668	▽7
机加工面	0.437	0.321	0.163	0.307	▽8	0.130	0.176	0.300	0.202	▽8
烧结内径面(平行)	1.43	1.26	1.50	1.40	▽6	1.79	1.84	1.94	1.86	▽5
烧结压制面	0.504	1.960	0.945	1.140	▽6	2.07	2.05	2.01	2.04	▽5
机加工面(发黑)	0.800	1.440	0.538	0.926	▽6	0.762	0.738	0.680	0.729	▽7
内径面(平行,发黑)	0.861	1.04	1.45	1.12	▽6	1.11	1.23	1.15	1.16	▽6
整形压制面	0.831	0.534	0.866	0.744	▽7	2.37	2.94	2.05	2.45	▽5
整形外径面*(平行)	1.22	2.00	0.982	1.44	▽6					
整形外径面*(垂直压制方向测量)	1.18	1.60	0.864	1.21	▽6	2.58	2.23		2.40	▽5
压制面(发黑)	0.472	0.268	0.476	0.405	▽7	3.12	2.28	2.21	2.54	▽5
整形外径面(平行)	0.288	0.239	0.173	0.233	▽8	0.479	0.736	0.638	0.618	▽7
整形压制面	0.303	0.324	0.358	0.322	▽8	1.38	1.42	1.34	1.38	▽6

* 同一个试样

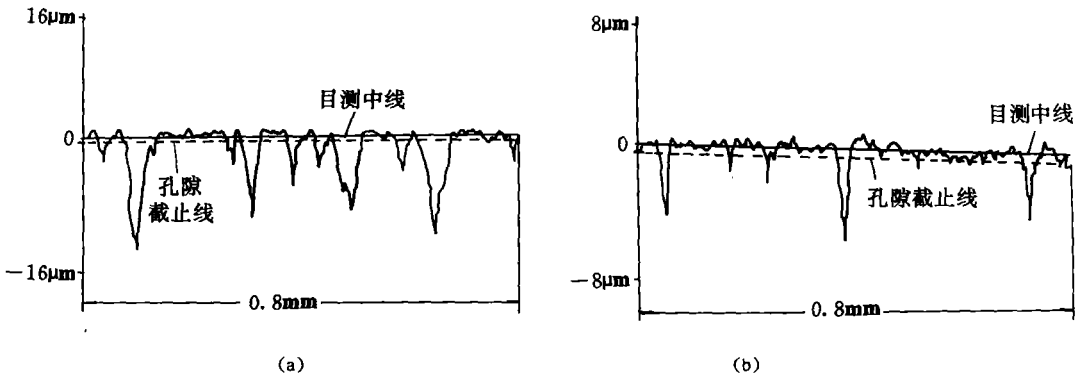


图 8 典型表面形貌曲线

Fig. 8 Curve of typical surface morphology

从表中看出：

(1) 两种触针测量值偏差较大，尤其是整形面偏差更大。

(2) 在同一个整形制品的垂直压制方向和平行压制方向进行测量，以考察纹理的影响。结果表明，两种测头的测量结果没有多大差别。

表 3 去除孔隙前后 Ra 值比较

Table. 3 Comparison of Ra value between before and after eliminating pores

表面类型	四棱锥测头测得 Ra 值		斧刃形测头测得 Ra 值
	包含孔隙	去除孔隙	
整形内径面 (平行压制方向测量)	0.519	0.208	0.165
整形压制面	2.05	0.426	0.744

为了证明斧刃形测头测量结果的准确性，对几条典型的表面粗糙度曲线(用四棱锥形测头测量的)，去除小于 60μm 的孔隙，用中线制计算 Ra 值，并与原测量结果的 Ra 值

进行比较，典型曲线见图 8，计算结果见表 3。从表 3 看出，去除孔隙后计算的 Ra 值与斧刃形触针测量的 Ra 值基本一致。

6 结论

(1) 按 GB1031—83 单独规定了表面缺陷(孔隙)的要求，即测量粉末冶金制品表面粗糙度时，应不计入小于 60μm 的孔隙，触针式轮廓仪必须采用本文给出的斧刃形触针测头，才能避开孔隙造成的测量偏差，从而保证测量结果的准确性。

(2) 由于纹理的影响很小，可以不予考虑，如测量内孔表面粗糙度时，不用将样品分成两个半瓦，可用直线测量代替曲线测量。

(3) 表面粗糙度仪只要更换测头触针，即用斧刃形触针代替四棱锥形触针，就可用于粉末冶金制品表面粗糙度的测量。同时，仍可用于致密金属材料机械加工件表面粗糙度的测量。

7 参考文献

- 1 烧结合金的设计手引书. 住友电气工业株式会社粉末冶金事业部. 1982. 21~23
- 2 ニツカロイ机械品编. 日立粉末冶金株式会社. 1982. PM—003D, 10
- 3 渡辺 佯尚. 焼結合油軸受の制造門びしユろの性能こ関する研究. 粉体ずみび粉末冶金, 1965, 12(6); 219
- 4 机械工业标准化技术服务部. 表面粗糙度测量仪器检验标准及测试研究方法译文集——研究表面特征(粗糙度和波纹). 1985
- 5 GB6062—85《轮廓法触针式表面粗糙度测量仪 轮廓记录仪及中线制轮廓计》

〔编者按〕 本文可以作为 GB/T12767—91《粉末冶金制品表面粗糙度参数及其数值》的说明，以标准刊登在本刊 1992 年第 2 期上。

DISCUSSION ON METHODS FOR EVALUATING SURFACE ROUGHNESS OF P/M PRODUCTS (EXCLUDING CEMENTED CARBIDE AND FILTER)

Ma Huanong

(Beijing Research Institute of Powder Metallurgy, Beijing 100075)

Abstract Surface roughness is an important index showing the quality of P/M products(excluding cemented carbide and filter). The present paper gives a special description about how to quantitatively evaluate surface roughness of P/M products with testing head of axe edge form.

Key words P/M product profile instrument for surface roughness testing head

美国近年出版的粉末冶金图书书目

- Powder Injection Molding, 作者: Randall M. German, 544 页, 1990 年出版
 Powder Injection Molding Symposium—1992, 约 400 页, 1992 年出版
 Materials and Applications in Injection Molding New Perspectives in Powder Metallurgy, Vol. 10, 约 400 页, 1992 年出版
 Fundamentals of Soft Magnetism for Powder Metallurgy and Metal Injection Molding Monographs in P/M Series No. 2, 作者: chaman Lall, 约 140 页, 1992 年出版
 Atomization; The Production of Metal Powders Monographs in P/M Series No. 1, 作者: Alare Lawley, 约 170 页, 1992 年出版
 P/M in Aerospace and Defense Technologies, F. H. Feoes 编, 424 页, 1991 年出版
 Low Pensity, High Temperature Powder metallurgy Alloys, W. Frazier, M. J. koczak, P. w. Lee 编, 288 页, 1991 年出版
 New Materials by Mechanical Alloying Techniques, E. Arzt, L. Schultz 编, 386 页, 1989 年出版
 Composites; Engineered Materials Handbook, Volume 1, 美国金属学会(AMI)编, 980 页, 1987 年出版
 Powder Forging, 作者: Howard A. Kuhn and B. Lynn, 288 页, 1990 年出版
 Hihg Temperature Sintering (Metal Metallurgy Frogress Vol. 9), Howard I. Sanderow 编, 400 页, 1990 年出版
 Metallographic Atlas of Powder Metallurgy, 作者: W. J. Huppmann and K. Dalal, 190 页, 1986 年出版
 Hot Isostatic pressing, Theory and Applications, 美国金属学会(AMI)编, 376 页, 1991 年出版
 Powder Metallurgy Equipment Manual, 3rd Edition, Samuel Bradbury 编, 200 页, 1986 年出版
 Powder Technology Handbook, Koichi Iinoya, Keishi Gotoh and Ko Higashitani 编, 824 页, 1991 年出版
 Powder Metallurgy Design Manual, 110 页, 1989 年出版
 Proceedings of 4th International Conference on Isostatic Pressing, MPR 出版机构, 656 页, 1991 年出版
 Processing of Structural Metals by Rapid Solidification, F. H. Froes, S. J. Savage 编, 475 页, 1987 年出版
 Selected Case Studies in Powder Metallurgy, I. Jenkins and J. V. Wood 编, 160 页, 1991 年出版
 Powder Metallurgy for Full Density Products, New Perspectives in Powder Metallurgy Vol. 8, Kishor M. Kulkarni 编, 625 页, 1988 年出版
 Advances in Powder Metallurgy—1991, Vol. 1~6, Leander F. and Rrynald J. 编, 1991 年出版
 Advances in Powder Metallurgy—1992, 8~10 Vol. Joseph M. and Randall M. 编, 3 卷约 3150 页, 1992 年出版
 P/M'90—World Conference on Powder Metallurgy, Vol. 1~3, 英国材料学会编, 1990 年出版
 Materials Standards for /P/M Structural Parts MPIF Standard # 35, 1990—91 Edition, 22 页, 1990 年出版
 Materids Standards for P/M Self—Lubricating Bearings MPIF Starelard # 35, 1991—92 版
 Standard Test Methods for Metal Powders and Powder Metallurgy Products (MPIF), 80 页, 1992 年出版

[董颐摘自“Powder Metallurgy 1992 Publications Cataloy MPIF, APM1”]