

硬质合金模压成型收缩系数对压制性能与物理性能的影响

赵丽丽,张严,冯文,袁彩云,储永代

株洲钻石切削刀具股份有限公司;硬质合金国家重点实验室

摘要: 选用 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ 晶粒度的 WC 混合料为原料,研究不同模压收缩系数条件下、硬质合金产品的压制性能与物理性能。利用试验结果建立了收缩系数与压制压力之间的指数方程关系式。指数方程表明:随着收缩系数增大,压制压力呈指数曲线降低,压制弹性后效也随之减小;随着混合料 WC 晶粒度减小,压制压力与弹性后效随之增大。压制 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度的混合料时,以压坯不出现裂纹为标准,确定最小收缩系数应分别不小于 16.5%、16.5% 以及 17%。当收缩系数从 16% 增大到 20%,硬质合金产品的孔隙度与抗弯强度在某一收缩系数点处出现明显的物理性能变差趋势,因此, $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度的模具收缩系数应分别 $\leq 17.5\%$ 、 18.5% 及 19% 。

关键词: 模压成形;收缩系数;压制性能;物理性能

中图分类号: TG115;TG61;TH161.3 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.015

Effect of Shrinkage Coefficient on Compaction and Physical Property of Cemented Carbide Die Forming

Zhao Lili, Zhang Yan, Feng Wen, Yuan Caiyun, Chu Yongdai

Abstract: By Using WC mixture with grain size of $5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ and $0.8\mu\text{m}$ as raw material, the compaction and physical properties of cemented carbide products under different molding pressure shrinkage coefficient are studied. Based on the experimental results, the exponential equation between the contraction system and the pressing pressure is established. The exponential equation shows that the compression pressure decreases with the increase of the shrinkage coefficient. At the same time, the elastic aftereffect is reduced. As the grain size of WC mixture decreases, the pressing pressure and elastic aftereffect increase accordingly. For the mixture with grain size of $5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ and $0.8\mu\text{m}$, the minimum shrinkage coefficient should be determined at the time of crushing and crack, which should be no less than 16.5%, 16.5% and 17% respectively. When the contraction coefficient increases from 16% to 20%, the porosity and bending strength of cemented carbide products are at a particular point appear obvious shrinkage coefficient physical property variation trend, so $5\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ and $0.8\mu\text{m}$ WC grain size mold shrinkage coefficient should be no greater than 17.5%, 18.5% and 19% respectively.

Keywords: carbide die forming; shrinkage coefficient; compaction propertie; physical propertie

1 引言

成型是粉末冶金工艺中最重要的工序之一,随着粉末冶金技术的发展,粉末冶金产品的性能要求也不断提高,出现了多种成型方法,其中应用最为广泛的为模压成型。将混合料粉末装在合金模具中,通过模冲对粉末加压、卸压后,坯体从阴模内脱出,最终形成具有一定形状、尺寸和密度的压坯^[1]。成型后的压坯通过烧结可得到所要求的物理性能。

模压成型包含混合料、压制工艺、模具和压机四大要素,其中模具是模压成型的主要组成部分,在成型模具设计中收缩系数是计算模具尺寸必须要考虑的重要参数之一^[2]。收缩系数主要与混合料成分、粒度、压坯密度和烧结工艺有关,通常根据不出现分

层现象的最大密度(或压制压力)来确定收缩系数,硬质合金产品收缩系数一般为 17%~20%^[3]。

硬质合金产品模具设计收缩系数范围较宽,而实际产品生产过程中受混合料晶粒度的影响,导致粉末在成型性能与物理性能方面存在差异,所以在模具设计中,收缩系数应尽可能准确,以保证产品质量。利用理论分析和试验研究方法分析不同晶粒度 WC 在成型过程中收缩系数与产品压制性能和物理性能之间的关系,确立更为准确的硬质合金产品模具收缩系数选用原则,指导硬质合金产品实际生产。

2 试验原料及方法

试验采用原料粒度分别为 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ 的 WC,经过成分配比、球磨和喷雾干燥后制备好混合料^[4]。分别在双向机械式压机上选用收缩系数 18% 的 PS21 硬质合金模具 ($20.5\text{mm} \times 6.5\text{mm} \times$

5.25mm),固定压制高度(6.4mm),采用自动填料方式,通过改变压坯单重 M_p 来实现收缩系数的变化。表1为 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ 的 WC 混合料在不同收缩系数条件下的压制参数。

表1 WC 混合料 PS21 压制参数

$5\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	毛坯体积 $V_s(\text{cm}^3)$	压制高度 $H_p(\text{mm})$	压坯单重 $M_p(\text{g})$
1组	16.0	0.750	6.40	10.47
2组	16.5	0.737	6.40	10.29
3组	17.0	0.724	6.40	10.10
4组	17.5	0.711	6.40	9.92
5组	18.0	0.698	6.40	9.74
6组	18.5	0.685	6.40	9.57
7组	19.0	0.673	6.40	9.39
8组	19.5	0.660	6.40	9.22
9组	20.0	0.648	6.40	9.05
$3\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	毛坯体积 $V_s(\text{cm}^3)$	压制高度 $H_p(\text{mm})$	压坯单重 $M_p(\text{g})$
1组	16.0	0.750	6.40	11.49
2组	16.5	0.737	6.40	11.29
3组	17.0	0.724	6.40	11.08
4组	17.5	0.711	6.40	10.89
5组	18.0	0.698	6.40	10.69
6组	18.5	0.685	6.40	10.49
7组	19.0	0.673	6.40	10.30
8组	19.5	0.660	6.40	10.11
9组	20.0	0.648	6.40	9.93
$0.8\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	毛坯体积 $V_s(\text{cm}^3)$	压制高度 $H_p(\text{mm})$	压坯单重 $M_p(\text{g})$
1组	16.0	0.750	6.40	11.07
2组	16.5	0.737	6.40	10.88
3组	17.0	0.724	6.40	10.68
4组	17.5	0.711	6.40	10.49
5组	18.0	0.698	6.40	10.30
6组	18.5	0.685	6.40	10.11
7组	19.0	0.673	6.40	9.93
8组	19.5	0.660	6.40	9.75
9组	20.0	0.648	6.40	9.57

参照表1参数,在 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ 的 WC 混合料压制过程中记录压制压力 F (压机设备上读取),根据压制面积计算出单位压制压力 P 。压制完成后采用数显千分高度表测量压坯长度 L 、宽度 W 和高度 H ,根据压坯尺寸计算出压坯体积 V_p 。已知压坯单重 M_p ,可以求出压坯密度 r ,具体数据见表2。

3 试验结果及分析

3.1 建立收缩系数与压制压力曲线方程

硬质合金粉末的压制曲线可用下式表示为

$$r = bp^a \quad (1)$$

式中, r 为压坯密度; p 为单位压制压力; a, b 为常数。

为求 a, b 值,将式(1)两边取对数得

$$\ln r = \ln b + a \ln p \quad (2)$$

表2 PS21 压坯测量检测数据表

$5\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	压制压力 $P(\text{MPa})$	长度 $L(\text{mm})$	宽度 $W(\text{mm})$	高度 $H(\text{mm})$	压坯密度 $r(\text{g}/\text{cm}^3)$	压坯外观
1组	16	221.6	25.086	7.957	6.397	8.20	微裂纹
2组	16.5	178.9	25.083	7.955	6.394	8.06	合格
3组	17.0	141.9	25.079	7.953	6.396	7.92	合格
4组	17.5	117.5	25.076	7.952	6.394	7.78	合格
5组	18.0	95.8	25.073	7.951	6.397	7.64	合格
6组	18.5	77.1	25.068	7.950	6.393	7.51	合格
7组	19.0	60.9	25.065	7.948	6.394	7.37	合格
8组	19.5	50.8	25.063	7.947	6.400	7.23	合格
9组	20.0	39.5	25.062	7.947	6.395	7.10	掉边
$3\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	压制压力 $P(\text{MPa})$	长度 $L(\text{mm})$	宽度 $W(\text{mm})$	高度 $H(\text{mm})$	压坯密度 $r(\text{g}/\text{cm}^3)$	压坯外观
1组	16	351.2	25.117	7.969	6.405	8.96	微裂纹
2组	16.5	254.0	25.114	7.967	6.406	8.80	合格
3组	17.0	213.1	25.111	7.966	6.406	8.65	合格
4组	17.5	170.7	25.104	7.962	6.409	8.50	合格
5组	18.0	137.5	25.098	7.961	6.402	8.36	合格
6组	18.5	97.6	25.093	7.957	6.410	8.20	合格
7组	19.0	68.7	25.084	7.953	6.407	8.06	合格
8组	19.5	55.5	25.077	7.947	6.406	7.92	合格
9组	20.0	38.3	25.075	7.947	6.401	7.78	合格
$0.8\mu\text{m}$ WC	收缩系数 $K(\%)$	压制压力 $P(\text{MPa})$	长度 $L(\text{mm})$	宽度 $W(\text{mm})$	高度 $H(\text{mm})$	压坯密度 $r(\text{g}/\text{cm}^3)$	压坯外观
1组	16	514.7	25.12	7.978	6.402	8.63	裂纹
2组	16.5	430.2	25.116	7.975	6.403	8.48	微裂纹
3组	17.0	360.5	25.114	7.972	6.400	8.34	合格
4组	17.5	300.1	25.111	7.970	6.400	8.19	合格
5组	18.0	255.1	25.108	7.964	6.397	8.05	合格
6组	18.5	200.1	25.106	7.965	6.407	7.90	合格
7组	19.0	166.9	25.103	7.962	6.403	7.76	合格
8组	19.5	139.7	25.101	7.961	6.405	7.61	合格
9组	20.0	118.5	25.097	7.958	6.402	7.48	合格

由式(2)得到图1,其斜率 $\tan\alpha = a$,截距为 $\ln b$,则可以求出 a, b [5]。

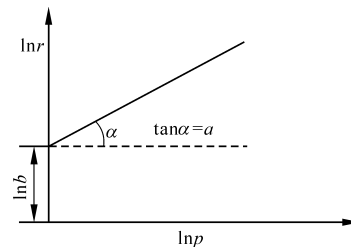


图1 不同 WC 颗粒常数 a, b 的测定方法及数学式

已知 P, r , 则可求得 $\ln p, \ln r$ 。根据 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ 的 WC 混合料计算出的 $\ln p, \ln r$ 数据,拟合线性方程式分别为

$$y = 0.0846x + 1.6485 \quad (3)$$

$$y = 0.0645x + 1.8120 \quad (4)$$

$$y = 0.0961x + 1.5550 \quad (5)$$

根据拟合的线性方程式可求得常数 a, b (见表3)。

表3 5 μm 、3 μm 和0.8 μm WC粉末的 a, b 值

WC 颗粒	5 μm	3 μm	0.8 μm
a	0.0846	0.0645	0.0961
b	5.199	6.123	4.735

建立压制曲线方程,通过公式推导在压制压力 P 与收缩系数 K 之间建立关系式为

$$M_p = \frac{V_s D_s}{(1 - C_1 \times 0.01)} \quad (6)$$

$$V_p = \frac{V_s}{(1 - K)^3} \quad (7)$$

$$r = \frac{M_p}{V_p} \quad (8)$$

式中, M_p 为压坯单重; V_s 为毛坯体积; D_s 为毛坯密度; C_1 为单重烧损系数; V_p 为压坯体积; K 为收缩系数; r 为压坯密度; a, b 为常数。

由式(6)、式(7)和式(8)可得

$$r = \frac{D_s \times (1 - K)^3}{(1 - C_1 \times 0.01)} \quad (9)$$

将式(1)代入式(9)可得

$$K = 1 - \sqrt[3]{\frac{(1 - C_1 \times 0.01) \times b P^a}{D_s}} \quad (10)$$

式中, $C_1 = 2.5$ 。

5 μm WC粉末的毛坯密度 $D_s = 13.60\text{g}/\text{cm}^3$, 3 μm WC粉末的毛坯密度 $D_s = 14.93\text{g}/\text{cm}^3$, 0.8 μm WC粉末的毛坯密度 $D_s = 14.39\text{g}/\text{cm}^3$ 。分别将5 μm 、3 μm 和0.8 μm 的WC粉末毛坯密度 C_1, D_s, b, a 代入式(10),整理得

$$K = 1 - 0.720 \times P^{0.0282} \quad (11)$$

$$K = 1 - 0.736 \times P^{0.0215} \quad (12)$$

$$K = 1 - 0.685 \times P^{0.0320} \quad (13)$$

将式(11)、式(12)和式(13)绘制为曲线图(见图2)。

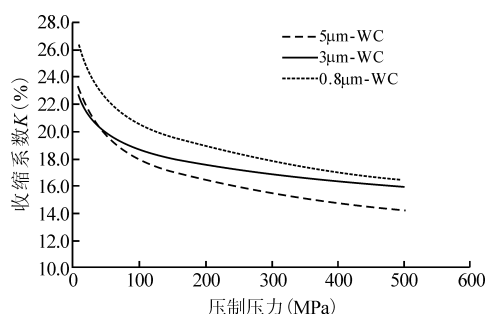


图2 压制压力与收缩系数的关系

从图2可以看出,收缩系数与压制压力之间存在指数方程关系,但不同WC晶粒度的压线方程存在一定差异。在相同收缩系数条件下,0.8 μm WC混合料单位压力约等于2.5倍5 μm WC混合料的单位压力,3 μm WC混合料单位压力约等于1.5倍5 μm WC混合料的单位压力,故不同WC晶粒度混合料在同一收缩系数条件下压制压力差别较大。随着收缩系数减小,粉末压制压力逐渐增大;当压坯密度随压制压力增加越来越慢时,粉末收缩趋势也逐渐放缓。在相同压制压力条件下,随着WC晶粒度的减小,收缩系数逐渐增大;压制压力过大,将严重影响模具使用寿命。

3.2 收缩系数与弹性后效之间的关系

在压制过程中,当除去压制压力并将压坯脱出压模后,由于内应力的作用,压坯发生弹性膨胀,这种现象称为弹性后效。弹性后效通常以压坯膨胀后的百分数表示^[1]为

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (14)$$

式中, δ 为沿压坯长度或宽度的弹性后效; l_0 为压坯卸压前的长度或宽度; l 为压坯卸压后的长度或宽度。

根据表2压坯卸压后的长度与宽度测量值,由式(14)计算出5 μm 、3 μm 和0.8 μm 的WC粉末长度、宽度弹性后效百分数(见图3)。

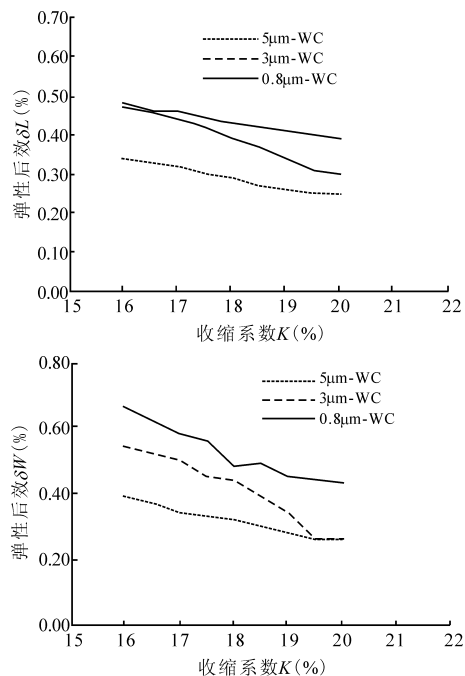


图3 5 μm 、3 μm 和0.8 μm WC粉末收缩系数与弹性后效的关系

从图3可以看出,随着收缩系数从16%增大到20%,压坯弹性后效几乎呈线性减小;当收缩系数超过20%时,弹性后效趋势放缓,基本上不再增大。

在相同收缩系数条件下,随着 WC 晶粒度变小,压坯弹性后效逐渐变大。对于结构比较复杂的产品,尤其是 WC 晶粒度较小的混合料,由于压坯内部弹性后效较大,脱模时在薄弱部分或应力集中部分会出现裂纹。因此,5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 晶粒度的混合料压制时以压坯不出现裂纹时确定最小收缩系数应分别 $\geq 16.5\%$ 、16.5%以及 17%。

3.3 收缩系数对物理性能的影响

采用真空 V1450 $^{\circ}\text{C}$ 烧结 5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 粉末压制的 PS21,对烧结后的毛坯分别按照 GB/T 3489 - 2015^[6]、GB/T 3851 - 2015^[7]、GB/T 3850 - 2015^[8] 和 GB/T 7997 - 2014^[9] 进行孔隙度、抗弯强度、毛坯密度及硬度性能检测,物理性能指标参数检测结果见表 4。

表 4 5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 合金物理性能检测

5 μm WC	毛坯密度 (g/cm ³)	孔隙度	抗弯强度 (MPa)	硬度 (N/mm ²)
16%	13.65	A02B00	2723	1390
16.50%	13.65	A02B00	2562	1390
17.00%	13.66	A02B00	2730	1390
17.50%	13.66	A02B00	2604	1390
18.00%	13.65	A02B02	2671	1390
18.50%	13.65	A02B02	2438	1380
19.00%	13.67	A02B02	2253	1390
19.50%	13.66	A02B04	2172	1380
20.00%	13.67	A02B06	2148	1380
3 μm WC	毛坯密度 (g/cm ³)	孔隙度	抗弯强度 (MPa)	硬度 (N/mm ²)
16%	14.94	A02B00	2512	1560
16.50%	14.93	A02B00	2438	1570
17.00%	14.93	A02B00	2647	1570
17.50%	14.94	A02B00	2503	1570
18.00%	14.92	A02B00	2510	1570
18.50%	14.93	A02B00	2625	1560
19.00%	14.94	A02B02	2400	1560
19.50%	14.93	A02B02	2190	1560
20.00%	14.93	A02B02	2070	1570
0.8 μm WC	毛坯密度 (g/cm ³)	孔隙度	抗弯强度 (MPa)	硬度 (N/mm ²)
16%	14.51	A02B00	3013	1550
16.50%	14.50	A02B00	3152	1560
17.00%	14.51	A02B00	3268	1560
17.50%	14.51	A02B00	3073	1550
18.00%	14.51	A02B00	3240	1550
18.50%	14.51	A02B00	3054	1560
19.00%	14.51	A02B00	3135	1560
19.50%	14.51	A02B00	2800	1560
20.00%	14.51	A02B02	2727	1560

由表 4 可知,随着收缩系数增大,合金毛坯密度和硬度基本上变化不大,但孔隙度变化明显;随着收缩系数增大,产品孔隙度逐渐增大。当收缩系数 \geq

18%时,5 μm WC 粉末出现 B 类孔隙;当收缩系数 \geq 19%时,3 μm WC 粉末出现 B 类孔隙;当收缩系数 \geq 20%时,0.8 μm WC 粉末出现 B 类孔隙。随着 WC 晶粒度变小,出现 B 类孔隙度时的收缩率逐渐变大,也就是说针对合金孔隙度的控制,WC 晶粒度较大的牌号需要适当减小收缩系数。

对表 4 中的 5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 合金的抗弯强度数据绘制柱形图,分别见图 4 - 图 6。

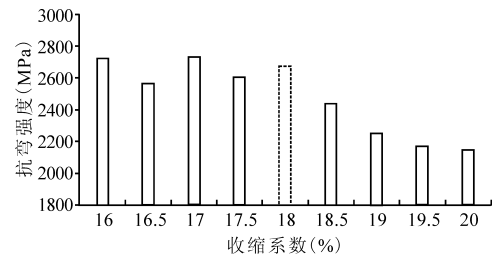


图 4 5 μm WC 粉末收缩系数与抗弯强度的关系

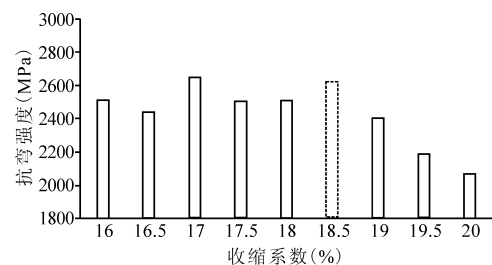


图 5 3 μm WC 粉末收缩系数与抗弯强度的关系

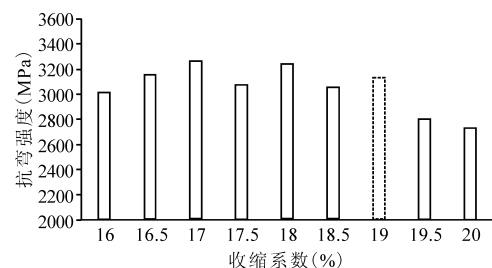


图 6 0.8 μm WC 粉末收缩系数与抗弯强度的关系

从图 4 - 图 6 可以看出,随着收缩系数的增大,抗弯强度会在某一收缩系数处出现一个拐点,即拐点之前抗弯强度存在无规律的变化波动,而拐点之后抗弯强度有明显减低趋势。随着 WC 晶粒度减小,抗弯强度拐点出现时的收缩系数也在逐渐增大。因此,为了保证产品有较好的抗弯强度性能,5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 晶粒度混合料的模具收缩系数应尽可能小于抗弯强度拐点所在的收缩系数值。

4 结语

(1) 基于试验结果建立了 5 μm 、3 μm 和 0.8 μm WC 晶粒度硬质合金粉末的收缩系数与压制压力之间的指数方程关系,根据指数方程可以计算

出不同收缩系数条件下, $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度硬质合金粉末的单位压制压力。

(2) 随着 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度硬质合金粉末的收缩系数减小, 其压制压力与弹性后效均逐渐增大, 进而产生模具磨损速度加快及压坯分层裂纹等不利影响因素; 同时, 混合料 WC 晶粒度越小, 压制压力与弹性后效越大。因此, 在保证合金物理性能的前提下, 应适当增大模具收缩系数, 在压制 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度的混合料时, 以压坯不出现裂纹为前提, 确定最小收缩系数应分别 $\geq 16.5\%$ 、 16.5% 以及 17% 。

(3) 通过对 $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度合金粉末在不同收缩系数条件下物理性能方面的检测发现, 收缩系数从 16% 到 20% 逐渐增大时, 合金产品孔隙数量和孔隙大小不断增多和变大, 抗弯强度出现明显降低。随着 WC 晶粒度变小, 合金产品出现 B 类孔隙和抗弯强度降低, 拐点位置时的收缩系数不断变大。因此, 为了保证硬质合金产品有较好物理性能, $5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ WC 晶粒度混合料的模具收缩系数应分别 $\leq 17.5\%$ 、 18.5% 以及 19% 。

参考文献

[1] 黄培云. 粉末冶金原理[M]. 北京: 冶金工业出版社,

2004:164.

[2] 熊国强. 硬质合金粉末压制模具的设计[J]. 江西冶金, 1999(6):31-34.

[3] 印红羽, 张华诚. 粉末冶金模具设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013:381.

[4] 王权, 彭建财, 陈德平, 等. 压制压力对合金产品的影响[J]. 工具技术, 2015, 49(6):47-50.

[5] 吴成义, 张丽英. 粉末成形力学原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003:8.

[6] 张守全, 樊智锐, 孙晓昱, 等. GB/T 3489-2015 硬质合金孔隙度和非化合碳的金相测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[7] 樊智锐, 张守全, 孙晓昱, 等. GB/T 3851-2015 硬质合金横向断裂强度测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[8] 谭立新, 蔡一湘, 王志, 等. GB/T 3850-2015 致密烧结合金属材料与硬质合金密度测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

[9] 朱桂荣, 陈栋玘, 谢海唯, 等. GB/T 7997-2014 硬质合金维氏硬度实验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

第一作者: 赵丽丽, 工程师, 株洲钻石切削刀具股份有限公司, 412007 湖南省株洲市

First Author: Zhao Lili, Engineer, Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tools Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China

《现代刀具设计与应用》征订



《现代刀具设计与应用》由成都工具研究所、行业协会和专业学会及标委会组织高等院校、科研院所、刀具企业和用户企业的 10 余名刀具专家编写, 国防工业出版社出版。本书介绍了近 20 多年来在先进制造技术快速发展过程中切削加工工艺的发展趋势, 全面反映了切削技术和刀具专业所取得的新进展。

全书 600 余页, 大 16 开, 130 余万字, 共 15 章, 分成两篇。第一篇为刀具设计基础, 共 7 章, 介绍金属切削基本原理、刀具材料、刀具几何参数及结构设计、刀具涂层、工具系统及刀具装夹技术和刀具标准等现代刀具设计应用的基础知识; 第二篇为刀具应用技术, 共 8 章, 内容涵盖了为获得最佳加工效果和正确应用刀具的系统专业知识, 包括工件材料可加工性、切削数据库、切削冷却润滑等基础知识以及高速、高效、硬切削、干式切削等切削新工艺, 刀具动平衡和安全技术、加工表面完整性、铣削走刀路线及编程方法和刀具管理等切削刀具专业的新技术。内容翔实新颖, 充分显示了刀具应用技术在现代切削技术中的重要性。

本书可供从事金属切削专业技术工作的工程技术人员、科研人员在开发刀具新产品、应用切削新工艺、提高加工效率、降低加工成本等实际工作实践中使用, 也可作为高等或中等专业学校机制专业师生的参考书及各类切削技术和刀具培训班的教材。本书对刀具制造企业开展技术创新和提高为用户服务的能力起到积极作用, 为提升我国装备制造业切削加工技术水平具有重要的现实意义。

本书定价 128 元, 欢迎专业工作者及专业图书资料部门订阅, 联系方式:

四川省成都市成华区府青路二段 24 号 工具技术杂志社发行部

电话: 028-83245073

邮箱: toolmagazine@163.com