



粉末冶金零件压制成形中裂纹的成因与对策(续)

韩凤麟*

(《粉末冶金技术》编辑部,北京 100078)

摘要: 分析了粉末冶金零件压制成形过程中裂纹产生的原因,提出了防止裂纹产生的对策。

关键词: 粉末冶金零件;压制成形;裂纹

(接 1999 年第 3 期第 221 页)

4.5 模具零件动作不协调同步^[2]

脱模时,所有模具零件的动作必须协调同步。在理想情况下,压制成形与压力消除后,所有模具零件的偏移应达到完全平衡,同时粉末压坯受到正确支撑。倘若如图 15 所示模冲 1 或 2 比其它模冲先向上移动,则在其它模冲与压坯之间就将产生一间隙,当伴有对阴模壁的摩擦力时,就会产生拉伸力,从而导致图 15 所示裂纹产生。

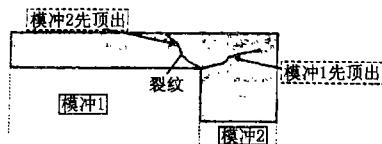


图 15 因顶出动作不同步产生的裂纹示例

4.6 模冲偏移^[4]

在压缩载荷作用下,模具零件、压机和模架的相关零件都产生弹性变形。在模冲端面显示出的偏移量体现了这几个方面的综合弹性变形。利用多模冲系统压制成形多台面粉末压坯时,必须精心控制模冲偏移和要使之

平衡。若一模冲的偏移大于或小于其邻接模冲,则脱模时,压坯与偏移小的模冲之间将产生一间隙,致使该模冲不能支撑压坯,例如图 16 所示。由于下模冲 D 比模冲 B 与 F 的偏移量小,所以模冲端面就出现了不均衡偏移。压制成形后与消除压力时,模冲 B 与 F 的弹性恢复强制使位于阴模型腔中的粉末压坯向上移动,可是模冲 D 的回弹较小,从而在模冲 D 与压坯之间就产生了一小间隙。开始脱模时,所有下模冲都以同一速率向上移动,同时还必须克服压坯与阴模壁间的摩擦力。因此,作用在压坯未支撑部分的这种摩擦力就使压坯内处于拉伸状态。在模冲 B 端面外角处就很可能产生裂纹,其走向主要是向内扩展。对于解决这个问题,要改变因压机零件产生的偏移,人们是无能为力的。比较现实的办法是调整下模冲的长度,从而改变它们的弹性应变量,具体的计算方法见文献 [3]。另外,也可通过调整模架系统来改变下模冲的偏移量。

4.7 模具零件对中^[2,5]

粉末冶金模具是一类精密成形模具。为防止粉末颗粒进入模冲与阴模和芯棒之间的

* 韩凤麟,中国机械通用零部件工业协会粉末冶金分会顾问

收稿日期:1999-06-15

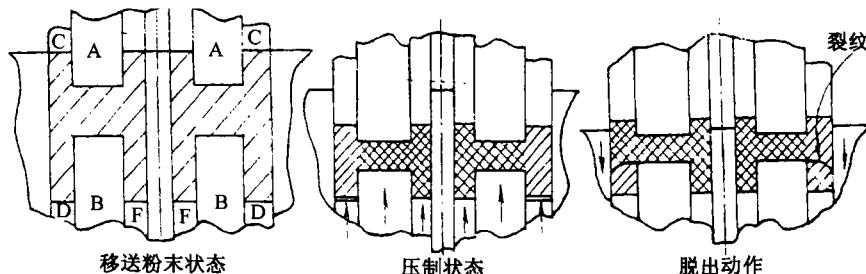
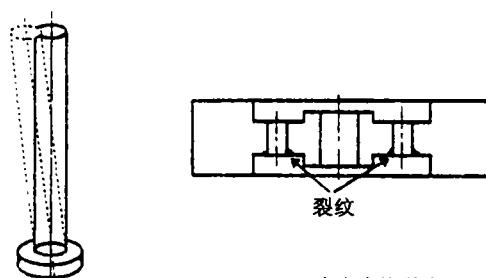


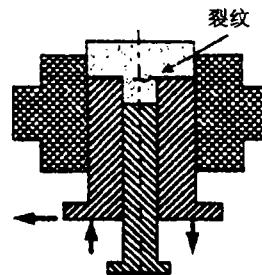
图 16 因下模冲回弹不同引发的裂纹示例

间隙中,它们之间的配合间隙必须很小,通常最大值为 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 左右。因此,这些模具零件都必须进行精研配合。影响阴模、模冲及芯棒不对中的任何因素都可能影响模具的使用性能。例如,经由模具间隙落于底板上和达到芯棒与接合器之间的粉末,就可能使芯

棒不对中,从而使芯棒偏向滑动间隙的一边,在抽出芯棒的孔的一侧产生模型裂纹或碎裂,如图 17(a)所示。若滑动间隙太大,则可能使模冲在水平方向移动,致使脱模时,产生的剪切应力可能使压坯凸起部的根部产生裂纹,如图 17(b)所示。



(a) 因芯棒不对中产生的裂纹



(b) 因水平移动产生的裂纹

图 17 因模具对中产生的裂纹示例

4.8 模具表面粗糙度差^[2,5]

粉末冶金成形模具中,阴模、模冲及芯棒的成形工作表面粗糙度必须达到 $0.025 \sim 0.012 \mu\text{m}$ 。例如图 18 所示上模冲,即使其端面凹槽内具有合理的拔梢,若表面粗糙度差(由于模具制造或磨损)都会增大摩擦,使脱模时压坯内产生大的拉伸应力,从而将部分或全部凸台部撕裂或使压坯上部边缘水平碎裂。

4.9 模具表面粘附有粉末颗粒^[2]

模具表面粗糙或磨损时,有利于粉末颗粒粘附,从而改变模具表面的形状。这不但会显著增大压制而成形与脱模时的摩擦力,而

且会阻碍压坯脱模。和模具损坏处相对应的粉末压坯表面就会形成裂纹,如图 19 所示。

5 零件压坯形状可能引发的裂纹

压制而成形时,零件压坯的形状对压坯内密度分布、粉末颗粒移动、脱模时弹性应变的释放等都有影响,处理不当,也可能使压坯中产生裂纹。

5.1 零件压坯形状不对称^[2]

对于几何形状不对称的粉末压坯,要想脱模时压坯完整无损,必须在模具设计上下功夫。如图 20(a)所示的粉末压坯,脱模时,

阴模拔梢部对压坯施加一上升力。因此,在模冲 1 与 2 交会处就将产生一拉伸力。这种裂纹多半以某一角度扩展到压坯的不受模具

限制的部分。通过采用上模冲压紧脱模,可将这种裂纹减少到最低限度。

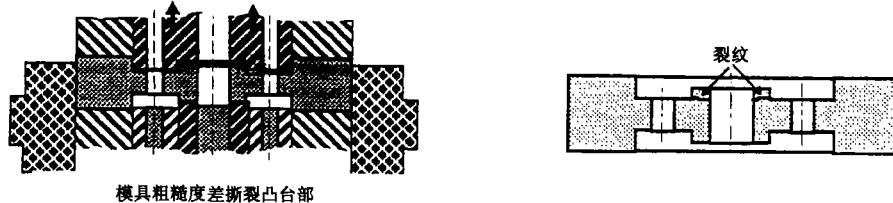


图 18 因模具表面粗糙度差产生的裂纹示例

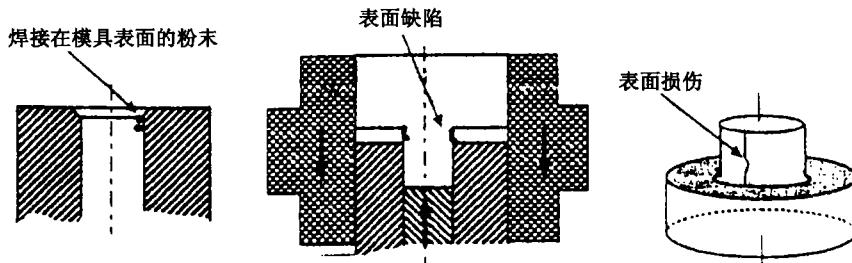


图 19 因粉末颗粒粘附于模具表面而造成的裂纹示例

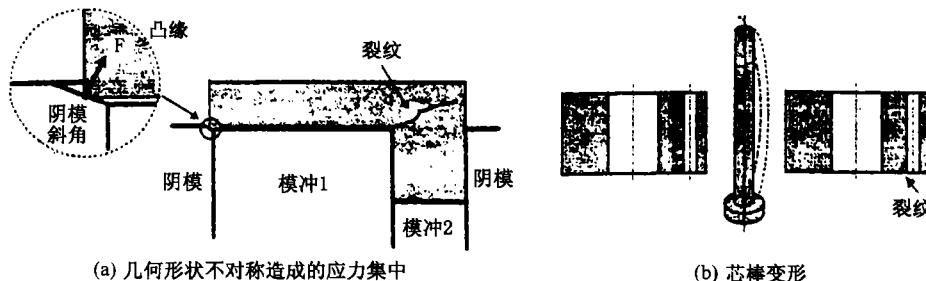


图 20 因压坯形状不对称产生的裂纹示例

粉末压坯内孔的位置不对称时,也会产生不均衡应力,从而导致细长芯棒弯曲,如图 20(b) 所示。脱模时,芯棒发生弹性变形恢复,致使在压坯孔的出口边缘处产生破碎裂纹(往往在高应力一侧)。

5.2 锥面或球面^[2]

对于带锥面或球面的粉末压坯,需用端面对压制方向不垂直的模冲压制而成形。压制

时,压坯的这些形状特征将使粉末颗粒沿模冲端面移向侧面。合成的剪切应力和粉末颗粒间的侧向移动可能使粉末压坯表面产生层裂缺陷,如图 21 所示。斜面角度增大时,层裂缺陷的数量多半也会增多。

5.3 零件压坯尺寸变化大^[2]

零件压坯的尺寸变化大,如图 22 所示 T 型压坯,在压制而成形时,可能会产生局部密度

低或应力集中,致使生坯强度非常低,从而增

大了这些部位产生裂纹的可能性。

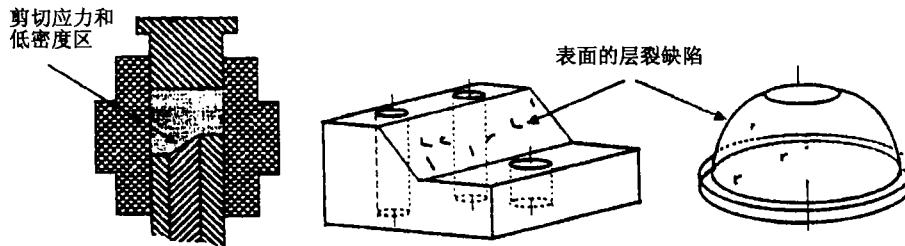


图 21 因压坯具有斜面而产生裂纹示例

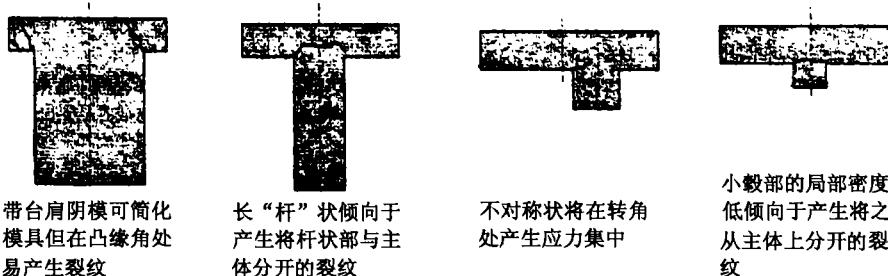


图 22 尺寸比率不均一导致的裂纹示例

6 压坯搬运引发的裂纹

在粉末压坯从模具中脱出后,从阴模板台面上移开时、烧结时的装盘或装舟以及往传送网带上码放都必须精心操作,否则,也可能使压坯中产生裂纹。

6.1 粉末压坯自动拣放^[2]

为提高生产效率和增强工人安全,在自动粉末成形压机上普遍采用了自动拣拾与码放装置。装置的夹持力必须足以将粉末压坯拣起和无坠落之虞。夹持力过大将使压坯受力,可能使之开裂,如图 23 所示。这种夹持裂纹在压坯内是径向的和垂直于夹持方向。薄壁压坯对夹持力的大小特别敏感。

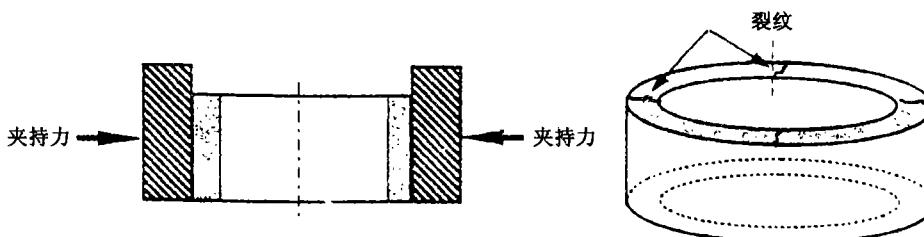


图 23 不恰当的夹持力造成的裂纹示例

6.2 粉末压坯从压机上移开^[2]

将粉末压坯从压机上移开最流行的方法

是,用装粉靴将压坯从阴模台板上推开。然后,借助于一斜面将粉末压坯移送到存放区,

以便操作者有时间运走。装粉靴和压坯要轻轻接触。若装粉靴送进的太快,碰撞力大,可能使压坯外表面产生径向裂纹。若出口处斜面的倾斜角度太大,压坯滑下的速度过快,则压坯滑落到存放区时,也会产生类似问题。当粉末压坯堆集时,新到的压坯会碰撞先位于存放区者,从而造成压坯外表面产生径向

裂纹,见图 24。当装粉靴与压坯接触时,若压坯还没有全部从阴模型腔中脱出,或内模冲被拉下到了阴模型台板水平,则压坯下部边缘也可能产生碎裂。移送压坯时,和阴模型台板或传送滑道相接触的粉末压坯的精细凸出部或薄壁也都易于破碎。

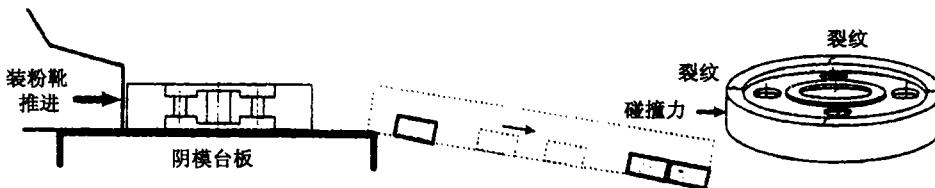


图 24 因压坯碰撞产生的裂纹示例

6.3 操作者搬运^[2]

粉末压坯性能脆弱,因此搬运必须小心。产生振动载荷的任何动作都会使粉末压坯中产生拉伸或剪切应力,从而引发裂纹。对于有悬置截面的大型压坯或对于有细薄截面的粉末压坯,都可能产生类似问题。将粉末压坯装入烧结盘(或舟)或烧结炉的传送网带上

时,若压坯坠落或没有放置好,其中也有可能产生裂纹,见图 25。若一盘粉末压坯误操作,则整盘压坯可能报废。这种缺陷往往是偶然的、人为的误操作造成的。对于这种缺陷难以鉴别,必须对制成品进行 100% 检测。对于防止这种缺陷,只能依靠对操作者进行培训,使之严格遵守操作规程。

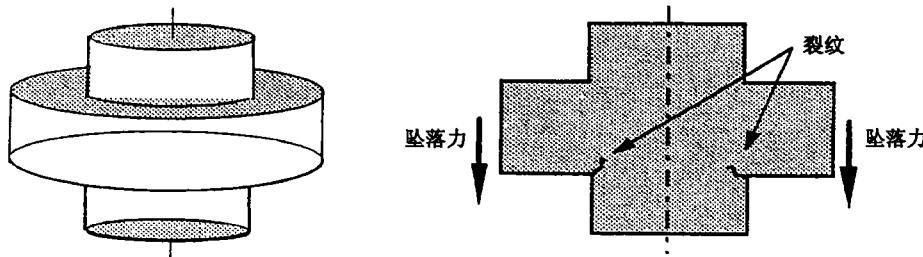


图 25 搬运方法不当产生的裂纹示例

7 避免压制而成形时粉末压坯中产生裂纹的对策

就上述压制而成形时粉末压坯中产生的裂纹来看,很多都和装粉密度的均一性,压制过程中粉末体密实的均衡性以及压制而成形终了脱模时模具零件、压坯的弹性应变恢复密切相关。因此,解决粉末压坯中裂纹产生的根

本措施,在于改进压机设计及在模架、模具设计上下功夫。

7.1 上模冲压紧脱模^[1]

这是压制而成形后防止脱模时粉末压坯中产生裂纹常用一种方法。现在,德国 Dorst 机器设备公司、日本良琢精机(株)、日本玉川机械(株)、美国 Gasbarre Products Inc. 等生产

的粉末冶金成形压机都有这种功能，并可随机提供附件“上模冲压紧装置”。

在粉末压坯的整个脱模过程中，借助于“上模冲压紧装置”，对压坯在轴向施加适当的压缩力，在一些场合下，可防止粉末压坯中产生裂纹，例如图11、图20(a)。

借助于“上模冲压紧装置”对粉末压坯施加的压缩力作用有两个：

(1)当粉末压坯仍位于阴模型腔中时，可减小作用于粉末压坯的剪切应力，从而使最大剪切应力不会达到粉末压坯材料的极限值；

(2)在粉末压坯位于阴模型腔中期间，可防止粉末压坯产生任何挠曲或向上鼓胀，从而阻止裂纹产生。

根据文献[1]，在压制成形终了后立即施加于粉末压坯的和在脱模期间一直保持的轴向压力，可用于粉末压坯的平均偏应力(或二次应力不变式)近似地进行估算：

$$q = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

对于位于阴模型腔中的粉末压坯，径向应力一般是均一的和两个径向主应力相等。因此，由式(1)得出：

$$q = p_e - p_{ro} \quad (2)$$

式中： p_e ——上模冲施加的压力，假定它等于脱模时由顶出下模冲施加的压力；

p_{ro} ——脱模时，上模冲脱离粉末压坯后，在垂直于压制轴线方向，阴模施加于粉末压坯的压力。通常称之为残余径向压力。

对于海绵铁粉与水雾化铁粉， p_{ro} 和轴向压制压力 p_a 与径向压力 p_r 的关系如下：

$$p_{ro} = (0.1 \sim 0.2) p_a \quad (3)$$

$$p_{ro} = (0.2 \sim 0.3) p_r \quad (4)$$

当粉末压坯从阴模中脱出时，残余径向

压力 p_{ro} 逐渐减小到0，可是沿压制轴线方向作用的 p_e 依然存在。因此，为了将 q (即作用在粉末压坯上的剪切应力)减小到最小值，应使 $q = \frac{1}{2} p_{ro}$ 。

将粉末压坯从模具中脱出时，施加的轴向力 F_e 必须大于模具表面的摩擦阻力。开始脱出所需的力可由下式计算：

$$F_e = f p_{ro} \sum uL \quad (5)$$

式中： f ——粉末压坯与模具表面间的摩擦系数；

$\sum uL$ ——阴模(起阴模作用的模冲和芯棒，若存在的话)与粉末压坯间接触面积之总和。

若以 A_c 为压制面积的话，则：

$$p_e = \frac{F_e}{A_c} = \frac{f p_{ro} \sum uL}{A_c} \quad (6)$$

由式(6)可看出，摩擦面积与压制面积之比越大， p_e 就越大。这也就是说，压制成形终了后脱模时立即产生形状挠曲的可能性就越小。这意味着，就避免压坯中产生裂纹而言，当粉末压坯的形状特点表现为 $\sum uL$ 对 A_c 之比大时，脱模时，不需要从粉末压坯顶端施加轴向压力。

反之，对于“扁平”形粉末压坯(如图11)，压制成形终了后立即在其顶端施加一轴向压力，并使之一直保持到粉末压坯从模具中全部脱出，这对于粉末压坯的完整性，可能具有决定性意义。

作为一个大致指标，在粉末压坯全部从模具中脱出之前，在其顶端一直施加之轴向压力应为 $(0.05 \sim 0.1) p_a$ 。

7.2 下模冲尺寸修正法^[7]

在设计形状复杂的多面零件压坯的压制成形模具时，必须将下模冲的弹性变形量考虑进去。否则，粉末压坯中就可能产生裂纹。

图26所示一零件压坯和图27所示用于

成形该压坯的模具与模架。原料粉末的充填高度 d 、 e 、 f 取决于压坯尺寸 D 、 E 、 F 与粉末充填系数。在装粉状态下, 使上模冲下

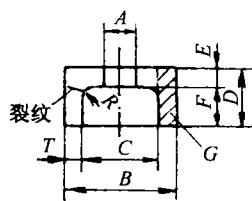


图 26 零件压坯图

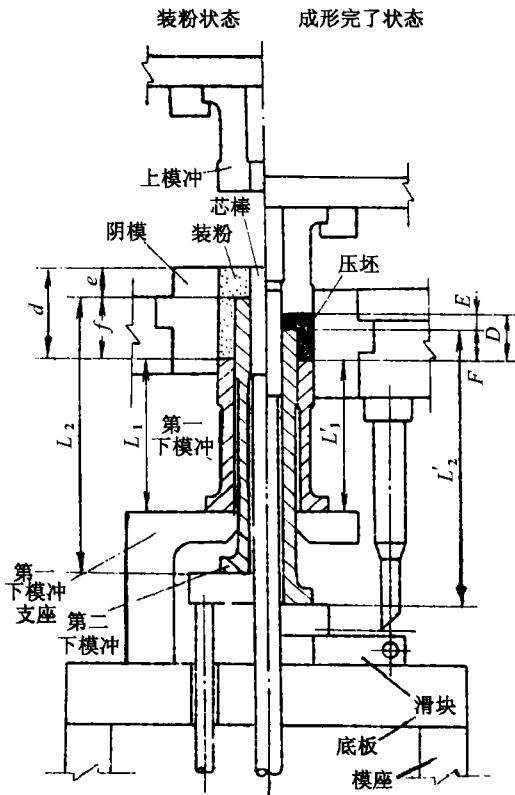


图 27 成形模具、模架图

降, 用上、下模冲将粉末压缩成形。压制成形终了时, 各模冲内都产生最大的压缩应力, 由于模具结构上的限制, 第一与第二下模冲的长度不同。因此, 即使是压缩应力相同, 长度较长的第二下模冲的弹性变形量也比第一下模冲大。现以底板为基准, 压坯的尺寸 F 取决于压制成形完成时第二下模冲的长度 L_2' 和(第一下模冲长度 L_1' + 第一下模冲支座高)之差, 再加上第二下模冲支座厚度与滑块厚度之和。必须将下模冲的弹性变形量之差反映

在设计的下模冲 L_1 与 L_2 中。模冲的断面形状虽不同, 但模冲的弹性变形量可用下式计算:

$$\Delta L = L \times p/E \quad (7)$$

式中 ΔL —— 模冲的弹性变形量, mm;

L —— 模冲长度, mm;

p —— 成形压力, kN/mm^2 ;

E —— 杨氏模量, (合金钢为 206kN/mm^2)。

例如, 假定第一下模冲长度为 80mm, 第二下模冲长度为 150mm, 压制压力为 49kN/cm^2 , 则模冲的弹性变形量分别为:

$$\Delta L_1 = (80 \times 0.49)/206 = 0.19 \text{mm};$$

$$\Delta L_2 = (150 \times 0.49)/206 = 0.36 \text{mm}.$$

这表明第二下模冲的弹性变形量比第一下模冲大 0.17mm 。因此必须对当初设计的第一或第二下模冲的长度进行修正, 或者将第二下模冲的长度修正为 $(150 - 0.17 = 149.83 \text{mm})$ 或将第一下模冲的设计长度修正为 $(80 + 0.17 = 80.17 \text{mm})$ 。否则, 压制成形后, 脱模时, 就可能产生图 26 所示的裂纹。

上面讲的这种下模冲设计尺寸修正法, 在粉末冶金成形模具设计中已得到广泛应用。其目的就是为了压制成形多台面粉末压坯时, 消除因下模冲弹性变形量不同而产生的裂纹。

7.3 液压控制的多层板模架^[1]

Dorst 机器设备公司生产一种适用于低-中等吨位机械式粉末成形压机的液压控制的多层板模架, 见图 28。借助于集成于底板中的液压缸, 可使板 A 移动到装粉位置, 通过上压头连接杆 1 同步推进到压制位置。一楔铁和滑块系统 2 为阴模的拉下动作机械地推开, 将 A 支撑于压制位置。然后, 杆 3 使板 A 移动到拉下位置。液压缸 4 使板 B 移动到装粉位置, 板 B 在压制位置支撑于底板上。板 B 只能进行液压顶出压坯。板 C 的动作和板 B 相同, 借助于液压缸分别移动到装粉位置

或顶出位置。

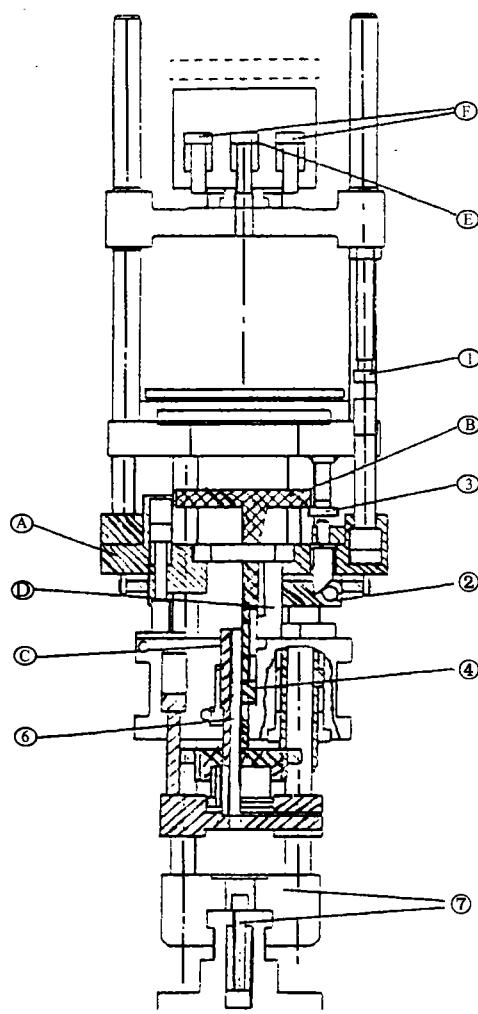


图 28 液压控制的多层板模架图

可将一个外加的模冲按装在杯型件 D 上,杯形件牢固地连接于底板上。底板中的孔 6,其尺寸足以容纳下由下压制板 7 或用压机的液压芯杆控制的另外一个模冲。

可用一中心液面上活塞 E 与 2 个同步液压活塞 F 来控制几个上模冲。因此,利用这种模架可提供多达 6 个液压面。

图 29 所示能够简便、可靠压制成形的一些典型压坯形状。

上模冲与板 A 之间借助于杆 1 的同步可避免因粉末移送不当引发的裂纹(3.1)。压

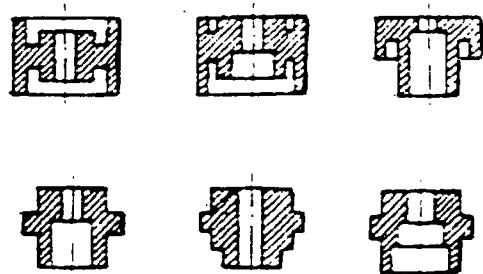


图 29 用图 28 所示多层板模架能够可靠制造的典型多台面零件压坯

制成形终了后,液压压力可在各个模冲上进行短时间保压,从而可避免因胀大产生之裂纹(3.4 与 4.6)。

鉴于在压制位置所有板都集中支撑在底板上,所以整个模具装置刚度相当大。这意味着,在很大程度上,可避免板与桥的弯曲。通过合理地调节相关的反向力,可消除不良的粉末流动,从而可避免产生(3.3)中所示之裂纹。

7.4 6 轴电驱动 CNC 压机^[8]

1992 年,日本东京大学玉川试验室宣布,开发了一种新型粉末冶金成形压机,其示意图见图 30。这是一种 6 轴直流电驱动的计算机数控压机。这种压机能控制每一个模具零件压制的位置与速度,从而需要时,只要简便地改变一作业变量就很容易确立最佳压制程序。其上、下各有 3 块可动模板,这些模板都是通过精密球丝杆分别单独与伺服马达相连接的。凭借上、下这 6 块模板对粉末可实现双向压制。据说,在低转数下,马达具有非常好的扭矩特性,马达与丝杆可产生的最大压制力约为 372.4kN。

要避免粉末压坯中产生裂纹,必须使整个粉末压坯的密度分布尽量均一,同时施加于粉末压坯每一台面的支撑力必须适度。因此,特别是在压力释放与脱模期间,对模具应力进行监控,可能有助于确定产生裂纹的主要原因。已证实,对于监控这种应力,这种新

型压机是很有用的。

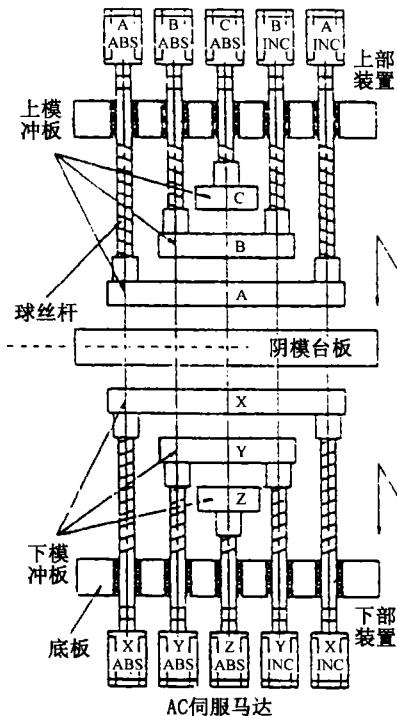


图 30 6 轴电驱动 CNC 压机示意图

8 结束语

要想使生产的多台面粉末冶金零件中无裂纹缺陷,首先需要弄清楚产生裂纹的根本原因,对症下药,采取措施。在这篇论文中,将粉末冶金零件生产中产生裂纹的主要原因概括为以下五类:混合粉的质量与组成,压制过程中粉末颗粒侧向移动,脱模时弹性应变

释放控制不当,零件压坯形状及压坯搬运。对每一种情况,都以实例进行了说明。最后,阐述了解决裂纹产生的四项技术措施。

粉末冶金零件生产工序虽少,但影响其生产过程与产品性能的因素却十分复杂,是由零件设计者、模具设计者、工艺设计人员、材料工程师共同决定的。生产准备人员和生产工人也都与生产的产品质量密切相关。因此,要想成功地消除裂纹缺陷,粉末冶金零件开发、设计、工艺及生产有关的人员都必须弄清楚产生裂纹的原因与对策才行。(续完)

参考文献

- 1 G F Bocchini, H Schaidl. Powder and Mix Properties, Tooling and Innovative Press, Suitable to Avoid Cracks in P/M part Compacting. *Advances in Powder Metallurgy*, 1991, 1: 59 Compiled by L F Pease III and R J Sansoucy, MPIF, Princeton, NJ.
- 2 David C Zenger and Haimain Cai. Common Causes of Cracks in P/M Compacts. *The International Journal of Powder Metallurgy*, 1998, 34(4): 33~52.
- 3 韩凤麟主编,粉末冶金模具模架实用手册,北京:冶金工业出版社,1998,76~77.
- 4 *Metal Powder Report*, 1986, 11: 845~849.
- 5 George H, De Groat. 粉末冶金的压模工具,厉声树译,上海市仪表电讯工业局技术情报所,粉末冶金工艺与模压工具的设计,上海市科学技术编译馆出版,1964,25~45.
- 6 韩凤麟主编. 粉末冶金设备实用手册. 北京:冶金工业出版社,1997,46~47.
- 7 日本粉末冶金工业会编著. 烧结機械部品—その設計と製造,技术書院,1987,207.
- 8 *Metal Powder Report*, July/Aug. 1992, 35.

HOW CRACKS OCCUR AND HOW TO AVOID CRACKS IN P/M PARTS COMPACTING

Han Fenglin

(Editorial Office of Powder Metallurgy Techology, Beijing 100078)

Abstract: The generation of cracks in green compacts has long been a problem for the P/M part industry. This paper describes in detail the causes which produce pressed cracks and how they can be avoided during powder compaction.

Key words: P/M parts; cracks; compacting