

钛合金成形譯文集

(第一集)



国外航空编辑部

1977年12月

目 录

成形方法和成形设备.....	(1)
鈦及鈦合金的两步成形方法.....	(9)
热成形压床.....	(13)
金属加工工艺及设备.....	(18)
金属零件的校形方法.....	(27)
鈦板成形方法.....	(33)
高温真空蠕变成形夹具.....	(36)
成形设备.....	(41)
用感应加热法精密成形鈦合金.....	(52)
蠕变成形模具.....	(61)
陶瓷模具的压紧系统.....	(65)
压床上快速更换模具的装置.....	(68)
金属表面的高温保护方法及其涂料.....	(72)
无蚀强碱槽去除鈦鳞皮.....	(84)
鈦及其合金除氧化皮用的电介液.....	(87)
确定高温计在蒸汽干涉时的正确的读数的装置.....	(96)

钛合金成形工艺资料译文集

(第一集)

成形方法和成形设备

(美国专利 3,339,387, 1967.9.5)

麦克唐纳·道格拉斯公司

本发明涉及到钛合金成形设备和方法，而不仅限于此，还特别叙述了应用压力机的金属成形及钛材的热成形与热校形。

钛合金成形通常是按要求形状应用阴阳模在压力机上压制成钛合金件来完成。某些金属、特别是钛及钛合金成形后，零件必须在高温条件下热校形，如 1000°F 下至少经几分钟，以保持成形所得的形状，否则，势必恢复到原来的形状和发生翘曲。在消除成形压力以后，立刻会出现复原或回弹现象。回弹被认为是因为钛的屈服强度和强度极限几乎相等，以至于在成形的零件内部存在着较大的应力。热校形能消除这些应力，因而能保持成形的形状。热校形的时间长短取决于工件的成形厚度，所用的具体的钛合金种类以及其它因素；可是通常情况对于钛零件的热校形时间有 5 到 10 分钟就足够了。

成形和热校形钛零件的一种方法是把成形工件压在阴阳成形模具之间，保持所要求的几分钟或更长一段时间。然而，压力机损耗和操作者的时间浪费是相当可观的。因为零件的成形不包括热校形，约在 15 秒钟内就能完成，而热校形通常需要超过许多倍的时间。增加生产可通过增加压力机、操作人员和模具套数方法来达到，但是增加精密对合模的成本是很高

的。使用橡皮成形法可以大大地降低模具成本，橡皮成形法是利用半个模具和一块厚橡皮垫来压制钛合金件。但是，橡皮垫不能用于高温条件下，而且因为橡皮垫不会均匀地对工件上被压向模具侧面的部位施加高压，所以获得的精度是有限的。即或昂贵的模具排除不谈，就压力机和操作者对每个零件进行 5 到 10 分钟的加工成本来说也是很高的，所以能以最少设备和提高生产率对钛制零件进行成形和热校形的成形设备和成形方法会具有很大的使用价值。

虽然钛制零件通常是在高温条件下成形，但有时可以在室温下成形，然后夹紧保持形状，进行热校形。但是零件局部有回弹，要夹紧零件将是相当费劲的，而且在变形剧烈的成形中，和在许多较脆的钛合金的成形中，必须要在高温下进行予成形，以防止破裂。因此通常要求钛合金零件在高温条件下进行予成形。除钛合金之外，许多其它材料（例如，钨、许多镍合金和不锈钢）稍有脆性，在高温下成形更好，尽管通常都不要求热校形。能够应用半个模具或模块在高温条件下进行成形的设备将会使钛合金件的生产大大简便，这不仅包括钛板零件，还包括许多难于成形的其它高强金属板件。

因此,本发明的一个目的,就是提供一种比以前更有效、更经济的钛板成形设备和成形方法;

另一个目的,是提供快速而又经济的钛板零件成形和热校形方法;

第三个目的,是提供一种比以前更有效而又经济的钛板件热成形方法;

第四个目的,是提供一种不用精密对合模具来成形钛板件的设备;

第五个目的,是提供一套在成形的金属零件的生产中能够有效地装卸、成形和热处理系统。

上述一些目的和其它目的可通成形设备,其中包括用半个模具或模块成形钛板件的压力机来达到。压力机包括一个底座,在其上可放置一块大的延性金属板或隔板,再在其上放置钛板工件,而钛板工件上部则是成形模。压力机还有一个压力头,它压住隔板周边紧贴底座,从而在底座和隔板之间形成一个液体密封室。让一种高压流体,通常是一种气体进入密封室内,并对隔板施加压力。因此该隔板围绕靠着压头支承的成形模来成形,并使工件成形到所要求的形状。仅隔板被挤入并卡固在模块侧面上的凹槽里,而工件的宽度比凹槽间的宽度小,所以它不进入凹槽。压力机压头被升起,成形模工件和隔板作为一个整体移送入加热炉进行热校形。最后拆隔板,零件做成了,模具再重复使用。

隔板是由延性材料组成,如低碳钢或铁。它起着形成流体密封室的作用,以容纳使隔板和工件在成形模上成形的高压液体。在模具上成形以后,隔板将工件紧固在模块上,以免工件向其原来的平面形状回弹。在热校形时,对于钛件一般要求5到10分钟,必须采用的唯一设备是一个加热炉和成形模。压力机实际上能在大约15秒钟内成形工件和隔板,同时配合采用许多具有不同形状的成形模便可用于批生产。

成形压力机可采用各种各样的型式,其中

之一,象熔盐这样的流体盛在金属隔板之下的压力机底座中。压头压紧隔板周边以后,冲头把成形模推向下紧靠工件和隔板,并将它们推进液体中。液体流不出去,因此它使隔板和工件按成形模变形。还有另一种型式,其中没有应用冲头,而利用蒸气作为高压流体,向底座和隔板之间的空腔注入一些水,底座被加热到华氏温度几百度以上便产生蒸气。

成形压力机通常是一套完整的成形系统的一个组成部分,该成形系统包括一个加热炉、从成形模上拆除隔板的装置及材料传送装置。

本发明的上述和其它特点,可从以下详细说明和附图更容易地了解:

图1是按本发明设计的一套完整的成形系统图;

图2是按本发明设计的具有零件局部剖视图的成形压力机立体透视图;

图3是一种压力机的一个局部立体剖视图,这个装置包括液体成形介质和冲头,冲头迫使成形模和隔板进入液体介质中;

图4是应用本发明的压力机在组合成形模上成形的工作和隔板的截面图;

图5是另一种型式的压力机的局部截面图,它利用增压气体在成形模上成形隔板和工件;

图6是又一种型式的压力机的局部截面图,注入压力机加热的底座中的水转变为蒸汽加压介质;

图7是用于图5和图6所示型式压力机的压制机构透视图,它是利用加压流体来成形的;

图8是成形和热校形后,用于从成形模和工件上拆除隔板的隔板拆除机构截面图。

现就图1来说明整个成形系统。该系统包括在成形模上成形金属的压力机10、成形件热校形用的加热炉12、从成形模周围拆除金属板的拆卸机14和在不同工作台或工作区域间传送材料与成形模的传送系统16。延性带板18,如1020号钢,它是从供料卷轴20

经过装配区 22 的装载工作台，再通过压力机 10。在装配区 22 把钛板工件 24 放在带板上，把单块模具或成形模 26 放在钛板工件上。带板 18 每边具有成形孔 28 与马达驱动的链轮 30 啮合，从而使带板朝着压力机 10 所在的成形区域移动。

压力机 10 通常有两个工作台，第一个工作台即底座 32，带板 18 在其上通过；第二个工作台即压头 34，它可向下移动到带板上，把带板压向底座。在压力机内称作隔板 19 的部分带板被压向成形模 26，该部分和搁在其上的工件就按成形模成形；然后把压头 34 升起来，让带板进入切断区域，在此处，剪切机 36 把包含起着隔板作用的部分切下来，即是在工件和成形模上成形的部分。也可以在带板伸到压力机之前进行切割，使得在成形时，隔板 19 与带板脱离。如果需要的话也可以一开始就应用切断的隔板。

隔板、工件和成形模的组件 38 由传送系统 16 传送到热校形加热炉 12。热校形是在高温下经 5 到 10 分钟左右，严密地保持钛零件成形形状，以消除成形所产生的应力。不经热校形，钛零件势必回复到未成形时的形状，不能获得精确的成形零件。纯钛零件通常是在约 1000°F 温度下进行热校形，而各种不同的钛合金则要求另外的温度，如 Ti-6Al-4V，是一种强度很高的合金，通常是在约 1200°F 温度下进行热校形。

通过加热炉以后，组件 38 再传送到拆卸机 14，以便将隔板从工件和成形模上去掉。隔板去掉以后，将成形模和工件从台子上提起来。如果到成形零件的形状某个部分阻碍了它脱模，则通常该成形模做成可拆卸的。工件脱开以后，成形模 26 由传送系统传送到装配区 22，以便重新使用。

现介绍图 2 和图 3。图 2 所示是一套装有成形模、工件与隔板的成形压力机的即将成形的情况。图 3 所示为零件成形时压力机压延详

图。该压力机组成部分分为，装在地板里的下支座 50 和在 54 处与下支座相铰接的上支座 52。上支座的非铰接端 56 靠组合式横梁 58 上下运动来升降，横梁的升降由液压作动筒 60 操纵。当组合式横梁使上支座 52 下降时，通过转轴装在上支座上的锁闩 62 将被转动，而锁钩 64 则把上支座非铰接端 56 紧紧地锁到下支座 50 上。装于压力机下支座上的底座 66 和固定于上支座上的压头 68 紧紧压住被成形的毛料。装在压头 68 内的可滑动的冲头 70 由液压作动筒组件 73 操纵上下运动，该作动筒固定在压力机上支座 52 上。

底座 66 做成浅杯形，有环形杯绿和 interior。内腔容纳液体成形介质 78，如下所述，该液体介质用以在成形模上成形隔板和工件。电加热元件 80 嵌在底座里，并与电源相连接（图上未示出），以便液体加热，从而使金属材料能在高温下成形。

为了成形工件，上支座 52 被升起，这就使冲头保持在上部位置，在压头 68 和底座 66 之间形成一个开敞的空间。然后，上面放好工件 24 和成形模 26 的用作隔板 19 的部分金属带板 18 移到压头与底座之间。压头 68 开始下降，通过操作横梁上的液压作动筒 60，使其锁定在适当位置，以便隔板的环形区 72 被夹紧在压头和底座之间。

虽然锁钩 64 将底座 66 和压头 68 固紧在一起，但对隔板的夹紧压力不易控制适当。夹紧压力是由放在压头 68 和隔板间的环形液压囊 74 来保持的。液压囊及其使用方法已在 1993.11.5. 提交的名叫“可变压力压延机及其使用方法”申请号为 No.321472 中作了介绍，液压囊是用两块环形薄钢板沿着两个同心圆焊缝焊在一起，从而形成一个环形液压囊，通过导管 76 把油或气体压入液压囊，使其稍稍膨胀，因此对压头 68 和隔板 19 产生压力。

隔板 19 牢固地夹紧在压头和底座间之后，在液压作动筒装置 73* 的作用下，冲头

*原文为 72 之误——译者注

70 向下压。冲头向下的移动将把成形模、工件及隔板的中心部分推进液体 78 中, 因为液体本质上是不可压缩的, 与隔板接触的液体便对隔板表面产生很大的压力。该压力均匀地作用在隔板表面上, 使悬空部分在冲头上形成一圈凸埂 75, 因而增大液体位移。在变形中, 隔板 19 把工件 24 压到成形模 26。因为液体均匀地加压, 所以工件在整个成形模上贴模良好。成形模 26 侧面具有凹陷或凹槽 82。工件 24 的宽度不足以延伸到这些部位, 但是隔板可以压进其中。隔板被压进凹槽部, 在随后的运送和热成形时可防止隔板和工件偶然从成形模上移动脱落。

成形后, 冲头 70 被升起, 液压囊中的压力被卸除, 而后压头 68 被升高, 以便去掉被工件 24 和隔板 19 包着的模具装置。被成形的组件 38 从压力机升起, 传送到剪切机 36, 而另一套成形模、工件及带板(隔板)放进压力机。

切断以后, 组件 38 传送到加热炉 12。钛成形件必须在约 1000°F (纯钛)到约 1300°F (某些常用钛合金)的温度下进行热成形 5 到 10 分钟。因此, 传送系统通过加热炉的部分约须 5 到 10 分钟。通过加热炉后, 把组件传送到拆卸机 14 上去。

图 8 所示的拆卸机包括一个用于固定隔板周边的底座 84 和一个能通过支座压紧到底座上的压头(图上未示出)。带有由橡皮或其它类似材料制成的柔性压头 89 的冲头 88 滑动地装在底座上。将组件放到拆卸机内, 使其带有宽边的隔板搁在底座的冲头上, 而后隔板 19 靠升起压头 86 从工件 24 和成形模 26 拆卸下来。压头下降, 则将与底座一起紧密地夹紧隔板 19。然后冲头 88 升起, 使隔板变形, 因此位于成形模凹陷 82 内的部分张开。冲头 88 下降, 压头 86 升起, 从拆卸机内取出成形模和工件。若工件一点没有被压进成形模的凹陷里, 那么就能从修光的成形模上滑脱。成形模再返回到装配区 22, 供重复使用。

当然所介绍的拆卸机可以有許多不同的型式, 例如可以用压缩空气从下面推动隔板 19 向上, 而不是应用冲头。

图 2 和图 3 所示的压力机仅是能按本专利方法用于成形的许多种压力机之一。图 5 局部剖视所示为另一种压力机, 它包括底座 90 和压头 92, 图中示出工件 94 和隔板 96 在压头型腔 102 内和其中的成形模 98 上成形的情况。为了进行热成形, 底座和压头的加热元件使压力机保持在高温下。液压囊 104 类似于以前叙述的液压囊 74, 位于压头和隔板之间, 液压囊通过导管 106 接收加压液体。使隔板能以可调的压力夹紧, 为使隔板夹的更紧, 在底座附近, 即通常与液压囊 104 相对应的地方做出许多的同心锯齿 108。这些锯齿形成几条线性接触, 而不是大面积接触, 并能使锯齿压入隔板, 从而能可靠地保持气体的密封性。做在底座上的导管 110 输送成形用的气体。

成形完成后, 首先将压头与底座分开, 在底座上放置原始平隔板 96, 上面再放工件 94 与成形模 98。然后, 把压头与底座夹紧在一起, 使液压囊 108 增压来固定隔板, 并在隔板和底座之间形成一个气体密封腔。然后从干燥的氮气发生器 112 放出氮气经导管 110 流入隔板 96 和底座 90 之间。

由于在隔板 96 的下表面 95 上作用有很大压力, 又由于其上表面 97 上除成形模处外都没有支承, 因而使隔板围绕成形模 98 拉伸变形。虽然用较厚隔板成形较厚工件可能需要 5000 磅/英寸² 的压力, 但通常使用大约 2000 磅/吋² 的成形压力。当隔板 96 变形时, 它将围绕成形模压制工件 94, 使工件获得成形模的形状。而当隔板接近压头时, 聚集在内腔 102 中的气体通过压头上的排气通孔 114 排出。压头里面加工有許多螺旋槽 118, 每个槽与排气孔连通, 在隔板成形完了和紧贴到压头上时, 保证聚集在内腔中的气体洩出。成形后, 卸除底座与隔板间的以及液压囊 104 中

的压力。底座 90 和压头 92 分离,以便移开包括隔板 96、工件 94 与成形模 95 的组件,而后把组件传送到加热炉中进行热校形。

在把隔板成形到图 5 所示的形状时,因为隔板弯过成形模 98 的角 116,所以隔板必定被拉伸。弯曲为多半是由于隔板上容易变形的悬空区所传递的向上的拉伸力引起的。因此不到最后成形阶段隔板接近成形模凹陷 120 的部分不会向里弯曲;即使成形模边角 116 圆角半径很小。工件和隔板也能很好地绕它成形,且成形完成后很少起皱。

隔板 96 必须具有足够的厚度,以便保持流体成形压力及保持成形好的工件免于回弹。由于隔板凸缘部分 117 远离成形模 98,因此隔板有助于防止工件回弹。工件回弹势必把凸缘向外推,而凸缘很有效地阻止了这种回弹趋势。

图 7 所示是整套加压装置,它用于移动压力机的底座 90 和压头 92,并把它夹紧在一起。这种加压装置包括立柱 122、刚性连接到立柱上的支承板 124 及固定于支承板的压头 92。加压装置底板 126 支承在横梁 128 上,该横梁横跨于立柱之间,两块可升起的楔形块 130 装在底板上可滑动。楔形块 130 与 132 用于支承压力机底座 90,并起到升降作用。

当楔形块 130 和 132 移动到一起时底座 90 上升,而当它们移开时底座 90 则下降。分别固定到楔形块 130 和 132 上的连杆 134 和 136 与传动螺杆 141 相啮合。传动螺杆两端具有左右螺纹,螺杆与连杆 134 相啮合的部分 140 为右螺纹,螺杆与连杆 136 相啮合的部分 142 为左螺纹。电气驱动变速马达 144 按预定方向带动螺杆 141,在第一个方向时使楔块分离,从而降低底座 90,在第二个方向时使楔块合拢,从而升起底座。两个支架 146 支住底板下边的螺杆,开在底板上的槽能使连杆沿其移动。

螺杆 141 向着使楔块分开和底座 90 降

低的方向转动,从而完成隔板和工件在图 7 所示压力机成形模上的成形。隔板、工件和成形模装在底座与压头之间,然后螺杆向着使楔块靠拢和底座升起的方向转动,而使隔板的周边压紧在底座 90 与压头 92 之间。其余的成形方法已在上面介绍图 5 时叙述过了。

在底座和隔板之间采用加压流体,以便围绕不动的成形模成形工件,这种形式的压力机可以用许多种不同方式取得加压的成形流体:一种方法,如上文结合图 5 的介绍,是打开活门,使高压气体流入隔板和底座之间;另一种方法,是向底座和隔板之间注入水或其它流体,而使所产生的蒸气作为加压流体。图 6 所示的压力机是用水注向加热的底座来获得蒸气的。

图 6 的压力机上放有工件 152 和成形模 154 的隔板 150,以其周边支撑在压力机压头 156 和底座 158 之间。如已结合图 3 叙述过,类似于液压囊 74 的液压囊 160 施加可调的夹紧压力。安置在压头和底座之中的许多加热器元件 170 连接到电源上(图中未示出),以便加热压力机。底座 158 接近于周边处有一个槽 162。接通槽的导管 164 将水箱的水传送到水泵 168,而后再送进槽里。

操纵水泵 168 迫使大量的水进入底座槽中,从而在底座 158 和隔板 150 之间获得用于成形隔板的加压流体。加热底座 158 将水转变成高压蒸气,蒸气作为加压介质使隔板和工件围绕成形模成形。完成成形工序之后打开阀门 172 使蒸气逸出,然后再卸除液压囊 160 中的压力,以及使压头 156 和底座 158 分离。这个阀门还可做安全伐用,如果底座加热温度下所获得的最大蒸气压力大于成形工序所要求的压力时,使过多的蒸气能逸出。但是,在大多数应用情况下,最大蒸气压力等于所要求的成形压力;例如,在 700°F 下,最大蒸气压力为 3100 磅/吋²面积,而在这种温度和压力下体积是 0.0753 呎³/磅,因此,在 700°F 和 3100 磅/吋²面积的压力下热成形时

安全阀就不必工作，把足够的水打进底座槽中即可获得足够的压力，需水量按成形之后，在底座 158 和隔板 150 间所得的空间，每立方英尺的容积要以两加仑的水来计算。

隔板和工件成形用的成形模可以是整块的金属模，用其成形的零件形状应能使零件容易从成形模上卸下来。在这种情况下，隔板直接被拆除，成形零件滑出。可是成形零件如果局部处在成形模侧面凹槽里，通常必须采用可分拆的模子，如图 4 所示局部剖面图。图 4 组合式成形模 170 由两块 172 和 174 以及一块夹在其间的楔块 176 组成。两个销钉 178 贯穿三块上的销钉孔，将这三块定位在一起。将工件 180 设计成部分地进入成形模侧面的凹槽 182 内。

为了拆除工件 180，同样先用图 8 所示拆卸机来拆除隔板 181。然后销钉 178 从销钉孔中退出，再拆除楔块 176 和另两块 172、174。当然在重复使用以前，模具要重新组装。

在钛钹件制造中，热校形时应用隔板保持工件的外形，成形模只能每 5 到 10 分钟重用一次，因为经过炉子要 5 到 10 分钟。在成形的间隔时间里，可以应用成形其它零件的成形模，而不是为同样的零件准备许多的成形模。因此，对于小批生产来说，如钛零件就很典型，要能连续地使用成形压力机，必须针对所需要的各种各样的钛零件提供许多不同的成形

模，而且每个成形模须经 5 到 10 分钟才能重复使用一次。还须要指出，成形一些小的零件时，可以将几个成形模和工件放在一块隔板上，同时成形和热校形几个零件。

采用按工件成形的隔板，以便在热校形时使工件保持适当形状，不仅对上述压床有用，而且对其它压床也有用。例如，在采用对合的阴阳模的典型压床中，隔板可以放置于工件与一个模具之间。成形之后，阴阳模分开，而后把带有工件和隔板的模具（通常是阳模——虽然不必一定如此——此时是利用模具侧面的凹槽）送到加热炉去热校形。再举个例子，隔板可以用于利用橡皮垫板在成形模上成形的橡皮成形法。上述两个例子中，隔板不起着保持加压成形流体的装置作用，而主要起着保持工件适当形状的夹紧装置的作用。

虽然隔板在热校形中能有效地用于使工件保有适当形状，但也可作为工件本身来应用。此外，也可在成形时用隔板来保持加压流体。对于没有侧面凹槽的整块金属成形模是在成形后拆除的。隔板的周边部分是在落料冲床或其它类似机床上切除，隔板中心部分就成为成形零件了。

虽然就本发明的个别具体的零件成形方法和设备作了详细介绍和说明，但懂技术的人员会懂得，只要不违背本发明的基本原则，可以作出许多更改和变动。

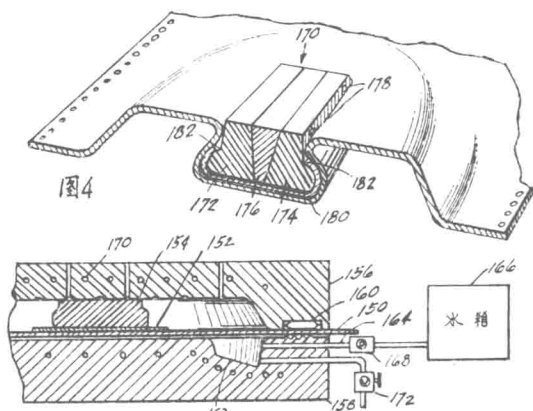
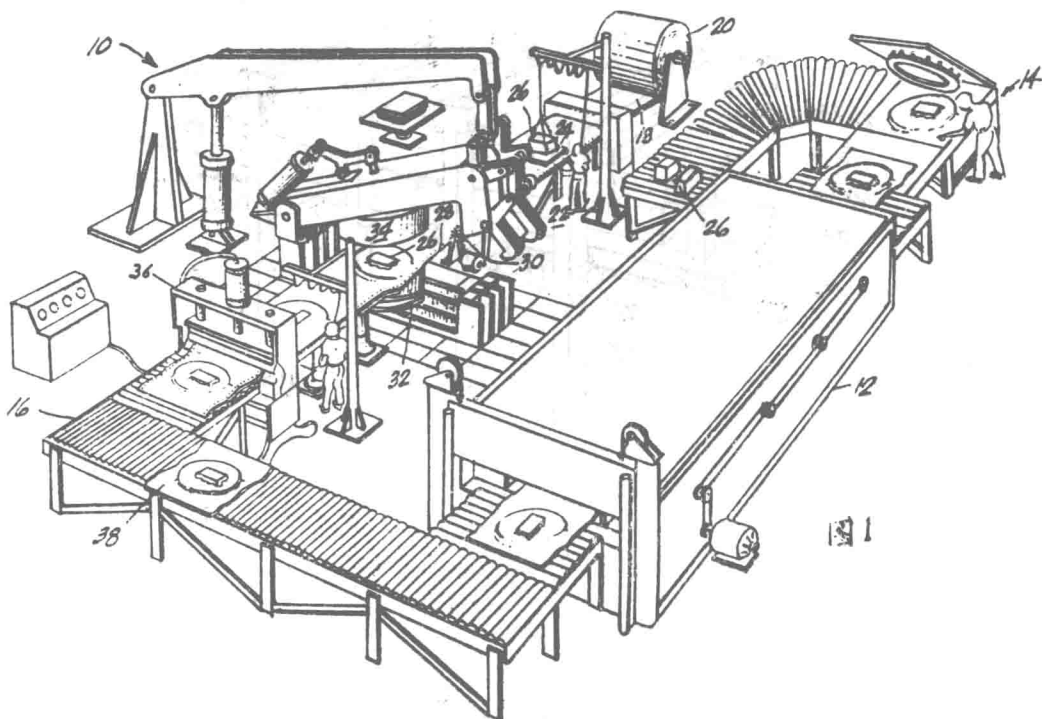


图4

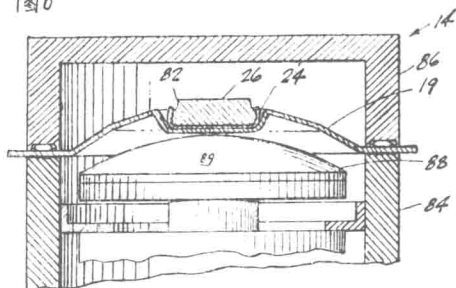


图6

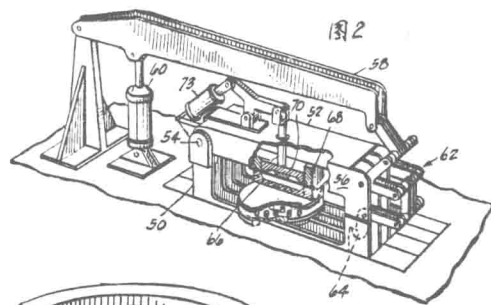


图2

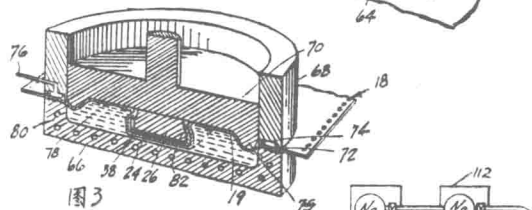


图3

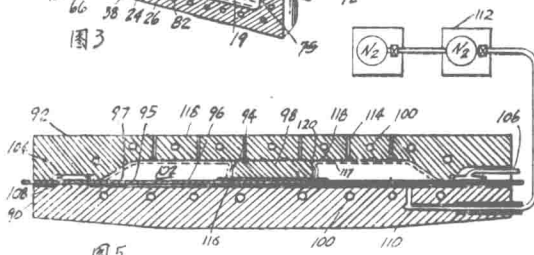
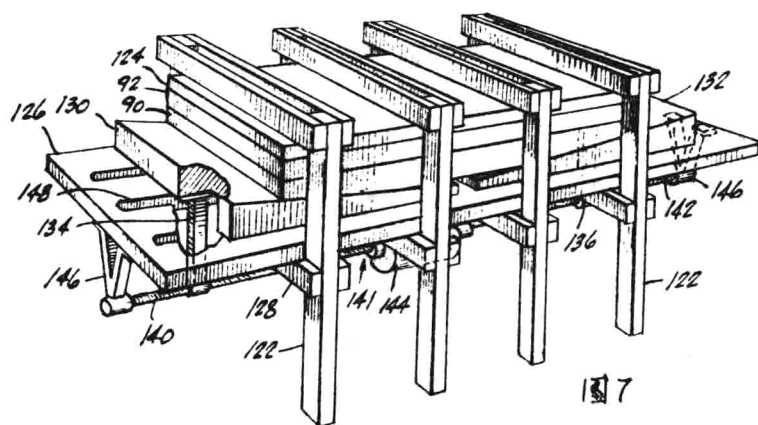


图5



625 所七室和一室译、校

钛及钛合金的两步成形方法

(英国专利 No.1,318,008, 1973 年 5 月 23 日)

美国通用动力公司

本发明叙述了金属工艺方法,具体地说叙述了钛及钛合金的一种成形方法,更具体地说,本发明涉及了两步成形方法,从而在大大低于钛成形通常要求的温度下提高钛及钛合金的成形性能。

近些年来,由于高速飞机和高温燃气涡轮发动机的出现,钛和钛合金的采用在材料方面占有非常突出的位置,因为这些材料具有高的强度—重量比和耐高速飞机飞行时通常出现的高温,所以非常适用于飞机结构件。

钛合金是属于难成形的材料,因为它具有高的屈服强度(120 到 190 公斤/英寸²)。由于钛合金难于变形,所以成形工序通常是在比低强度合金所要求的载荷还大,温度在 538°C 以上条件下进行。若干燃气涡轮发动机零件和飞机结构件要求用难成形的合金板材急剧弯曲,以便使前缘尽可能保持锐利,从而保持通过零件的气流效率最大。此外,一个结构件可进行的弯曲越厉害,则越有效,也就是零件会越轻。例如,某些发动机设计要求钛金件的弯曲半径等于板材厚度。这类成形要求板材外部纤维延伸率为 33%,因此,钛合金板件在成形时,建议成形温度为 649° 至 816°C。对于曲率半径等于板材厚度两倍的成形,其相应的外部纤维延伸率为 20%,成形温度建议为 649°C。只有在弯曲半径大于或等于板材厚度的 4.5 倍,其相应的外部纤维延伸率等于或小于 14-16%时,才建议钛合金采用室温成形。如果成形是逐步完成,两步间材料进行中间退火的话,那么对于给定的成形工序来说,

这种材料能够弯曲的程度还能增大。但是,高温成形工序是不希望采用的,因为高温成形工序将导致板材极度氧化和板材最大变形截面变薄,还因为高温成形工序要求成形模加热到极高的温度,从而急剧地降低模具寿命。中间退火技术也是不希望采用的,一方面是由于经济方面的原因,另一方面是因为长时间暴露于退火温度下将导致材料进一步污染。

根据本发明,钛及钛合金的成形方法是一种两步成形法,钛及钛合金材料首先冷却到液态氮的温度,并初步成形。实际上就在这种温度下可使材料产生初步变形,其变形量至少等于材料所要求的总变形量的 10%,然后在 18° 到 138°C 的温度范围内将其成形到最后形状。

这种两步成形法消除了通常钛成形所要求的极高成形温度的必要性,以及中间退火。

按本发明进行的两步成形法可以提高钛及钛合金工件的成形性,而其所要求的载荷比通常成形钛及钛合金时要小。

本发明所提出的具体方法包括:首先将钛或钛合金工件浸入液态氮槽中,并将工件局部成形到至少为所要求的总变形量的 10%,此后在温度 127°C 下工件最终成形。钛件最后变形到要求的载荷与温度实际上均低于钛成形通常的要求。所以本发明的两步成形法可视为一种“软化加工”法。

本发明的软化加工法之所以重要是因为,它使得金属在低温下产生塑性变形,方法是金属在液态氮中进行冷却,随后是金属在不小于室温 18°C 下进一步成形,因而既不要中间退

火来消除累积的加工硬化，也不存在钛及钛合金成形通常所要求的极高的工作温度。

照本发明的实践，最好使用液态氮做为低温成形冷却工件的介质，因为其成本相对地比较低，并容易处理。可是在现代低温工艺中所知道的一些液化气和低温流体也可用以使材料冷却到液态氮的温度。采用液态氮时可以适当地改进一下储存槽，以便容纳液态氮和防止其汽化。在液态氮介质中冷却后，将工件在成形设备的模具上定位，以便在介质温度下进行所要求的成形工序，如弯曲、拉伸、卷边、滚压、冲压或模压。

在本发明所谈到的方法中，为了使软化加工机构变得很有效，需要进行一定量的变形。单晶体软化加工的研究表明，对于这种机构须有5至6%的变形才是有效的。但是在多晶体材料成形中，必须至少有10%的变形。变形量可继续到10%以上，允许的总变形量仅受工件即将开裂或突然破坏的限制。虽然不一定要求这种变形（弯曲或拉伸）和第二次成形温度时的变形一样，因为第一次成形认为只是为了产生希望的错位排列，但在生产工序中，则希望两种变形相似。也就是如果工件要弯曲成所要求的形状，首先可在液态氮的温度下进行局部弯曲，然后在第二次温度或适当的高温下进行最后弯曲工序。

在工作局部成形到10%或更大的变形之后，工件加热到室温，本发明的目的是：室温范围为18°C到32°C，对于最后成形工序来说，加热到室温以上的适当的高温不超过138°C。为了实现用两步成形工序完成的成形性最大，发现希望第二次成形工序在局部成形工序后立即进行。据认为，成形工序间一时间停留仅仅一小时，就可使材料经过一定程度的恢复，业已说明，一小时的时间停留实际上降低了材料的成形性。在本专利谈到的具体方法中，第二次成形工序是在温度约127°C下进行，其理由将在下边详细说明。然而很明显，甚至在本专利谈到的具体方法中，最后成

形只是在适当的高温下完成，而这一温度实际上低于钛成形通常所要求的538°到816°C范围。

参照下列具体例子会更进一步说明本发明，并有助于了解它，同时将证明本发明在使钛及钛合金成形简便方面的有效性。

例 I

弯曲试验样件尺寸为12.7mm×50.8mm (1/2"×2")，厚度为1.6mm (0.062")，是从Ti-6Al-4V和Ti-5Al-2.5Sn退火合金板料切割下来的。前一种合金试样是垂直于板材轧制方向切割的，而后一种合金试样则是平行于板材轧制方向切割的。Ti-6Al-4V合金材料抗拉强度为135公斤/英寸²，屈服强度为120公斤/英寸²；而Ti-5Al-2.5Sn合金材料的抗拉强度为125公斤/英寸²，屈服强度为120公斤/英寸²。弯曲试验数据，特别是最小弯曲半径是大多数板金成形的标准之一。最小弯曲半径通常是以90°弯曲的最小的半径为基础的，在这种情况下板材没有明显的目视裂纹，正如放大10倍所看到的。Ti-6Al-4V合金材料最小室温弯曲半径为4.5到6t，其中t=板材厚度；Ti-5Al-2.5Sn合金材料的最小室温弯曲半径为3.5到4.5t。

把试件放在标准弯曲试验机上，该试验机两端加载点相隔为1吋(25.4mm)，中心加载轴为0.125英寸(0.635mm)。心轴给定2t弯曲度。所选择的弯曲度保证经过按本发明处理的合金材料在室温下要小于90°。对于未经处理的合金材料的2t弯曲度一般推荐温度为538°C。应变率为每分钟0.05吋(1.27mm)。表I列出了本试验结果。

参考表I可以看出，按本发明两步工序所获得的弯曲度实际上确实大于室温下或在液态氮温度下所获得的弯曲度。Ti-6Al-4V合金材料实际上在弯曲半径为2t时，其最大弯曲角度超过90°。经处理的Ti-6Al-4V合金材料的平均最大弯曲角度要比室温下平均最大弯曲角度大52%，而对于经处理的Ti-5Al-

表 I 经处理和未经处理的试件的弯曲试验数据

处 理	材 料	
	Ti-6Al-4V	Ti-5Al-2.5Sn
液态氮温度下的最大弯曲角度	40°*	50°*
	70°*	35°*
	56°*	52°*
	48°*	31°*
室温下的最大弯曲角度	74°	52°
	77°	55°
	76°	55°
在液态氮中弯曲 25° 后室温下的最大弯曲角度	115°+	77°++
	115°+	70°++
		70°++
		70°++

- * 突然断裂破坏
- + 成形工序间停 15 分钟
- ++ 成形工序间停一小时

2.5Sn 合金材料，其平均最大弯曲角度要比室温平均最大弯曲角度大 33%。如前所述，业已发现在低温成形之后，希望尽快进行第二次成形工序。参看表 I，可以看出 Ti-5Al-2.5Sn 合金材料比 Ti-6Al-4V 合金材料的可成形性小。可以认为，这种差别起因于在两次成形工序之间，给予 Ti-5Al-2.5Sn 合金材料的停放时间比 Ti-6Al-4V 合金材料的为长，这就容许前一种合金材料经过一定程度的恢复，因此，经低温弯曲成形所造成的不稳定的位错构型的一部分消失，从而降低了材料的可成形性。因此，在部分成形之后不久就应进行最终成形，不容许产生恢复反应，本专利两阶段成形方法的最大好处即可实现。

例 II

在不同批的合金材料板件的进一步弯曲试验过程中，发现不是每一批对“软化加工”都如所希望那样的反应。作为整个变形过程的依据，x 射线分析了材料的结构纹理和它的变化。最初的 x 射线结果表明，适于“软化加

工”的合金材料的结构纹理在平行于和垂直于轧制方向都是相同的。没表现出增加了延性的合金材料是各向异性的。进一步研究表明，在适于“软化加工”的合金材料中，有一种向双晶平面，即平行于轧制方向的平面（10：3）的强烈趋势；而对于各向异性的材料，则有一种基础平面，也就是平行于轧制方向的（00：1）平面的趋势。这表明在观察到的延性差别情况下，合金的结构纹理可能是重要的因素。

但是，这种各向异性的结构纹理效应经进行第二次成形能被消除，就是继液态氮成形之后，在 127°C 而不是在室温范围进行第二次成形。因此，本专利的具体方法是在液态氮温度下进行局部成形，此后，在 127°C 完成最终成形。表 II 和表 III 表示各向异性结构的 Ti-6Al-4V 和 Ti-5Al-2.5Sn 合金材料在 127°C 完成第二次变形的试验结果。所有试样均按例 1 的程序进行准备和试验。

从表 II 和表 III 可以看出，继液态氮温度下最初的预成形之后，在 127°C 进行最终成形的结果，合金材料延性增加很大，超过在室温下获得的延性，且延性和弯曲方向无关。还可以看出，按本专利的具体方法进行处理的材料，实现了弯曲角度超过最大预期的 90°。可见 127°C 在本专利方法中起“活化温度”（activation temperature）的作用，且可在

表 II Ti-6Al-4V 合金材料的成形数据

试 验 条 件	最 大 弯 曲 角	
	平行于轧制方向	垂直于轧制方向
室温弯曲	42°	57°
液态氮弯曲	44°	70°
继液态氮第一次弯曲后在室温下弯曲	65°	70°
继液态氮第一次弯曲后在 127°C 弯曲	108°	109°
在 127°C 弯曲	108°	82°

表 I Ti-5Al-2.5Sn 合金材料的成形数据

试 验 条 件	最 大 弯 曲 角	
	平行于轧制方向	垂直于轧制方向
室温弯曲	50°	63°
液态氮弯曲	44°	44°
继液态氮第一次弯曲后在室温下弯曲	88°	80°
继液态氮第一次弯曲后在 127°C 弯曲	106°	108°
在 127°C 弯曲	53°	59°

127°C 以上进行成形加工。但是，温度应保持在 316°C 以下，因为温度超过 316°C，会对合金材料和成形模具产生有害影响；在本专利方法中所用的温度不超过 138°C。因此，显而易见，本专利的两步成形法大大地增加了钛及钛合金的可成形性，且允许钛及钛合金实际上在低于通常所需要的温度下，在成形过程中剧烈变形。

专利要点

1. 在成形钛或钛合金材料的方法中，钛或钛合金材料首先冷却到液态氮的温度，实际

上就在那个温度下进行初步成形，在材料中产生至少相当于材料所需总变形量 10% 的初步变形，然后，接着在 18°~138°C 范围内，成形到其最后形状。

2. 按照要点 1 成形钛或钛合金的方法，被成形的材料是板件形式。

3. 按照要点 1 或 2 的方法，被成形材料经浸入液态氮槽内冷却。

4. 按照要点 1 到 3 任何一点的方法，材料在 127°C~138°C 温度范围被成形到其最后形状。

5. 两步方法成形的钛合金，含有 90% 重量的钛，6% 重量的铝和 4% 重量的钒，第一次成形在液态氮温度下进行，第二次成形在 18°C 到 138°C 范围进行，在关于实例的说明书中已充分叙述。

6. 两步方法成形的钛合金，含有 92.5% 重量的钛，5% 重量的铝和 2.5% 重量的锡，第一次成形在液态氮温度进行，第二次成形在 18°C 到 138°C 范围进行，如有关的实例说明书叙述。

7. 钛或钛合金零件均按要点 1~4 中的任何一点的方法进行成形。

625 所 一室、七室译校

热 成 形 压 床

(美国专利 3,528,276, 1970.9.15)

美国歇尔登-格雷公司

钛一类金属热成形和热校形用的一种改进的热成形压床。该压床在 1500°F 温度范围内工作, 包括一对有密封内腔的热压工作台, 腔内放置液态金属(钠钾合金之类)。当压床处在所要求的工作温度时, 这种金属都是液态和汽态的。工作台内装电加热器, 液态金属在各自的热压工作台内自由循环, 使热压工作台的温度均匀化。

本专利的背景

本专利叙述了经过改进的高温压床, 适用于钛合金, 高强度和类似金属在高温下的成形。这些材料制造的零件, 在高速飞机和其它高温下必须保持强度的装置中得到广泛应用。然而适于这些用途的金属要加工成经常要求的复杂形状是极其困难、昂贵和花费时间的。

近年来, 一种已知的“热成形和热校形”技术已经得到发展, 用于制造由这些强度高、重量轻的材料做的零件。这种技术包括在成形模或其它夹具内夹紧毛坯或工件, 并将其依次装在压床上, 使工件处于机械应力下。因此在工件内部引起应变或位移。

模具和被夹紧的工件接着加热到足以降低这种工件材料的强度和弹性极限的温度。本方法的工艺参数的控制是使加热工件内部的应力超过材料的新弹性极限。当工件冷却并自模具内取出后, 即获得永久变形。制成零件的最后形状受工件初始形状、工件在模具内夹紧时引起的应力应变、工件所加热的温度以及工件在高温下保持的全部时间所制约。

热校形技术业已成功地用于象钛合金一类的零件, 且具有超过较老的常规方法的许多优点。它提供的最终零件公差严格, 且降低了制造成本。热压机兼有热校形和热拉伸成形能力, 其中有些热压机还可在九个不同平面中提供成形力。这种技术的详情是已知的, 为了文字简洁, 不再赘述。

适用这种技术的压床, 典型的是在床身上装有一对大的加热工作台。这种工作台具有安装模具或其它夹具的工作表面, 并安装成用液压缸或类似装置, 使其彼此移近或移开。气体或电加热器用于使两个工作台升温到所要求的温度, 可以超过 1500°F 。

这种压床的一个困难问题是使工作台的工作面保持在所要求的同一温度。引起工作台表面温度不均匀是由于: 工作台边缘热量损失; 不连续的热源(例如装在工作台上或工作台内部的杆状电加热器等)供热不均匀; 局部热量从工作台传给模具和工件。工作台温度的不均匀影响本成形方法的最佳性能, 导致工装的变形, 且使工作台由于严重应力而引起翘曲, 降低工作台寿命。

为了避免上述问题, 在多数应用中, 用通过实体工作台的热传导方法来使温度均匀化是太慢了。已知有的压床, 因此采用了多套加热器, 安装在工作台上的不同区域。热传感器(例如热电偶)装在九个区域内, 由这些传感器来的讯号供给各自的控制系统, 改变供给每个加热器的功率。

这种分区控制方法已得到某种成功, 但是

从传感器和控制系统需要的数目来看,成本高而且复杂。在一台工作台面约一平方米的典型压床中,每块工作台上有九个分区,并单独加以控制。即便使用这种复杂系统,在 1500°F 的工作温度下,也不可能将温度的不均匀性减少至 $\pm 250^{\circ}\text{F}$ 以下。而对于有效的无畸变的操作,温差更需要降低。

本专利解决了热压工作台的温度不均匀性问题,能够在约 1500°F 的工作温度下,简单而经济地将温度控制在 $\pm 5^{\circ}\text{F}$ 的范围内。金属的热传导介质放置于每个工作台内的密封腔中,液态金属和它的汽化物自由流动,将热量从工作台的热区传给冷区。因此获得均匀的温度,而不用区域控制和与之相应的价高而又复杂的仪器。在压床工作温度下,密封腔的压力是低的,因此结构安全可靠。

本专利的梗概

简言之,本专利叙述热成形压床的经过改进的工作台。工作台是一块金属板件,具有平的工作表面,适于安置工件,比如模具或要成形的零件。该平台具有靠近于和通常邻接于工作表面的内腔。液态金属如钠钾合金放置于内腔中。液态金属钠或钾单放于内腔中也是有效的。

最好是在充填液态金属之前清洁内腔。充填之后密封内腔,与周围空气隔绝。在平台中,内腔由许多互相接通的长直孔所确定并伸入板面,孔的方向都平行于工作表面。塞子焊接在孔的端部,以形成密封内腔。许多长的电热棒固着于板件内,以便将工作台升高到所需要的工作温度。

照本专利布置的热成形压床使用一对热压工作台。工作台是可靠的装在 C 形床身中部,利用床身上的一个液压缸驱动工作台使其彼此靠近或离开,而使压床加载简便,并通过工作台对压床上的模具或其它工件施加作用力。

附图简要说明

图 1 按本专利布置的带工作台的热成形机床的正视图;

图 2 机床的侧视图;

图 3 如图 1 和图 2 所示压床上使用的工作台的平面示意图(局部剖开);

图 4 工作台侧视图;

图 5 工作台正视图。

本专利具体说明

照本专利安排的热压成形机 10 示于图 1 和图 2,有一个普通的 C 形床身 11,它带有床座 12,与下端固接到床座的立柱 13,固接于立柱 13 上端并伸向床座 12 上方的横梁 14。液压缸 15 与横梁相接,并有一个链头 16 伸在横梁下朝向床座 12。普通的矩形上工作台支座 17 与链头端部固接。

普通矩形板状上工作台 20 (见图 1—2 虚线部分所示),与支座 17 的下表面刚性连接。上工作台的侧面用绝缘材料 21 遮盖,以使侧面的热损耗减到最小。下工作台 22 (见图 1—2 虚线部分所示)与床座 12 的上表面刚性连接,其结构一般与上工作台相似,其侧面也是用绝缘材料 23 遮盖,使热损耗减到最小。

压床 10 以半示意图形式表示,为了图面清晰起见,将常用的操作控制、液压油路等一类系统皆省去。这类压床可制成许多不同的型式,而图示的压床只是可采用的设计的典型。例如,这类压床可装有动力传动机构,在装载时驱动上下工作台象蚌壳式彼此离开,提供通畅的开口,以接近下工作台的工作面。同样,压床可装有水平移动的下工作台,能使其在上工作台之下向侧面移出,提供了通畅的开口,便于装卸模具、夹具和要成形的零件。

上下工作台结构一般相似,下工作台详图示于图 3—5。下工作台 22 由金属板 26 制成,可以在工作温度高达 1500°F 或以上的情

况下,保持高的强度和刚度。300 系列不锈钢适于作这种板件,已知出售的“因康镍”镍铬铁耐热耐蚀合金⁽¹⁾、“因康”镍合金⁽²⁾和耐盐酸镍基合金⁽³⁾也均可用作这种板料。板件尺寸照专用压床的技术要求而变化,但典型板件的长和宽均约 3 呎,厚度约 $3\frac{1}{2}$ 英寸。

板件 26 有一个普通的平的上工作面 27,该工作面上可以有通用键槽、螺纹孔或其它孔(未示出),在压床工作时,用以固定工具、模具或其它夹具(未示出)。板件的下表面 28 一般平行于工作表面,亦可固接于压床床座 12 上,如图 1—2 所示。板件四周划分为第一侧面 29、第二侧面 30、第三侧面 31 和第四侧面 32。

板件中的第一组孔 35 用传统的钻镗技术加工,自第一侧面 29 向第二侧面 30 延伸。这组孔距第二侧面 30 稍短处终止,这样,仅孔的一端有开口。这组孔大致是平行的,左右分别留间隔,典型的直径尺寸约 $5/8$ 英寸。孔的开口倒角,以便于装密封塞,如下述。

板件中的第二组孔 36 自第三侧面引向第四侧面 32 延伸。孔 36 距第四侧面 32 稍短处终止,这样,每行孔仅有一个开口。第二组孔与第一组孔 35 成直角,而其它方面是类似的,如彼此平行,其左右分别留间隔,典型的直径尺寸约 $5/8$ 吋。这两组孔均位于板件工作表面 27 和下表面 28 之间的中心线上,因此,两组孔在板件内部相交形成格形迷宫和腔室。

在孔被成形和清洗之后,除留一个开口外,孔的其余各开口端焊上密封塞 37。然后,在由两组孔形成的腔室内,局部充填液态金属 38(约为孔腔容积的 40%~50%)。下一步是用普通的真空泵抽除腔室内的空气和其它汽体。在这个抽真空步骤中,腔室内的压力至少

要减少到一毫米水银柱。这时立刻将遗留下的一个开口孔用塞子 37 密封住,防止空气或其它气体再进入。不然,当工作台加热时,这些气体将与液态金属的汽体化合,引起板件内表面的氧化。这些气体的存在,也将不利于孔腔内壁的有效的热传递。所有塞子最好在位置上焊接,以保证腔室可靠密封,与工作台周围外部的空气隔绝。

热压工作台由许多棒形电阻加热元件 40 加热。这些加热元件装在由板件第一侧面 29 钻通到第二侧面 30 的孔内,这些孔布置在形式液态金属腔室的孔 35 和 36 的上下。这种类型的棒形加热器已为大家所熟知,且随时能买到。为了文字简洁起见,此处不再赘述,加热器用普通方法与电源(未示出)连在一起,可提供足够的电能加热到所需要的大约 1500°F 的范围。

液态金属 38 最好是已知的钠钾合金,一般以专用名词称作 Nak (“Nack”) (钠钾共晶合金)。一种由 56% 钠和 44% 钾组成的合金,在压床工作台内被优先采用,虽然这类材料的其它合金也能使用。最好是合金含钾 40% 到 90%,因为合金的这个范围在室温或接近室温时是液态的。Nak 的一种低共熔成分,例如,具有 77.2% 钾和约 10°F 的凝固点。要求在室温下是液态,因为这在热压工作台板件的内腔抽真空后容易充填。

钠钾共晶合金公认是一种高效的热传导介质,且有受热传热迅速的显著特。钠钾共晶合金具有高的导热率,高的聚热性,高的热传导系数,其密度与水极相近。它还有更大的优点,即其液化汽体在 1530°F 时,其压力约一个绝对大气压,因此,当热压工作台处于约 1500°F 的工作温度时,密封腔室与外界大气间的压力仅有一点差别或根本无差别。腔室压

(1) 原文为 Incoloy, 其化学成分 0.1C, 1.5Mn, <0.3S, <1Si, <0.5Cu, 30-34Ni, 19-22Cr, 余量 Fe。

(2) 原文为 Inconel—铬镍铁耐热耐蚀合金。

(3) 原文为 Hastelloy。