

超塑性合金

林鸿溢

金属或两种以上金属组成的合金,通常是坚硬的,有大的强度,做成各种构件很坚固,不容易破坏,这当然是一种优点;但是,强度越大的材料,要做成某种形状,成形也就越困难,这时强度大变成了缺点,给加工成形造成困难。

那么,有没有既柔软又坚硬的材料呢?长期以来,人们幻想着有一种材料,加工成形时,像麦芽糖似的,用一点力就能把它拉长,柔软可塑,而加工成形后,又像钢铁一样坚硬牢固。今天“幻想”已经成为现实,人们在实验中发现了超塑性合金材料,大体上是这样一种理想的材料。

一次实验引起的思考

我们来看一次有趣的实验,取长度、粗细相同的铅棒、锡棒、铝棒、铜棒和钢棒,做实验时,在每一种棒的两端分别用马拉。结果,铅棒两端各用1匹马就能把棒拉断,锡棒两端各用2匹马就能拉断;铝棒两端各用8匹马才能拉断,强度比铅和锡都大;铜棒的强度更大,两端各用20匹马才拉断;而金属大力士钢棒两端各用30匹马也拉不断。其原因是这些材料的强度按

北京理工大学电子工程系 北京 100081

害。

(六) 考古

利用遥感技术发现与研究古人类活动遗迹已成为现代重要的考古方法之一,考古学家借助遥感影像信息,再结合过去的记载,可以研究发现人类遗迹的所在、范围、面积、方位,以及破坏程度等定量和定性资料,这是对传统田野考

铅、锡、铝、铜和钢,依次增大,钢比铜大1倍,比铝大5倍,比锡大20倍,比铅大40倍。可是,如果给你一块优质钢和一块铅,在规定的时间内加工成规定的复杂形状,那么情况恰恰与上面实验结果相反,铅可以很容易加工成形,而钢则要困难得多。

张开想象的翅膀,假定把材料的强度和柔软结合起来,发挥各自的优点,在一定条件下,材料变得很柔软,塑性很好,进行加工成形,然后,在通常条件下,又变得很坚硬,具有高强度,这该多么美妙!这已经不是天方夜谭了,不是梦想了,已经研究成功多种这类材料,称为超塑性合金。

超塑性合金的定义

有一些合金在一定条件下会变得像麦芽糖一样柔软,容易延伸,容易变形,那么,到底怎样的合金称为超塑性合金呢?科学家经过深思熟虑下了如下定义:金属在适当的温度下,变得像麦芽糖一样柔软,其变形速度为每秒10毫米时,产生3倍(即300%)以上于自身的延伸率,称这种金属(或合金)为超塑性金属。

在通常情况下,金属的延伸率不会超过90%,而超塑性合金的延伸率可以高达2000%,

古方法的极大丰富。这种方法不仅省时省力,而且是一种非破坏性研究,利于文物保护。

随着传感器性能的改善和高分辨率卫星的升空,遥感技术正从航空遥感向航天遥感方向发展,应用领域也逐渐从军用转为民用。同时遥感也日益和GIS、GPS等技术手段相结合,必将大大增强其服务于人类的本领。

甚至高达 6000%，即可以产生 60 倍于自身的延伸(图 1)。能够产生如此大的变形而不发生断裂，确实令人惊讶！而科学家的头脑是理智而冷静的，在惊奇之余，敏锐地意识到这是一种十分可贵大有用处的材料。实际上最大好处是这种材料能够经受拉力的作用，产生大幅度的变形而不断裂的性能；利用这种性能可以在工厂里制造十分复杂的机器构件。那么，它与其他材料比较有什么优点呢？

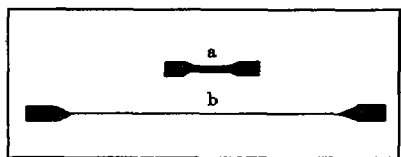


图1 Ni-Fe-Cr合金延伸率达1000%以上而无颈缩的拉伸试样图

a 拉伸试验前； b 拉伸试验后

整体成形

航空航天已经形成很大的高技术产业，要求具有高强度、耐高温和能够实施复杂形状的加工成形。但是，材料的强度越高，形状越复杂，加工成形就越困难，特别是整体成形就更困难了。目前，有静压法和旋压法等强力成形方法，对普通的高强度材料需要很高的压力，而且材料的利用率低，由于制造费用大，材料耗费多，所以成本必然居高不下。

利用超塑性合金，对航天飞机上的那些难加工成形的复杂形状的结构部件，就会比较容易加工。

如美国利用普通锻造法制造飞机隔架，需要锻出 158.8 千克的毛坯后，再经过机械加工，才能制成最后的构件。若利用超塑性合金，只需要 22.7 千克材料即可制成。可以看到每件可以节省 136 千克材料。若要生产 500 架飞机，则只这一个部件就可以节约大约 150 万美元。

这里有一个很好的例子，在制造 B-1 喷气式飞机的舱门、尾舱、骨架时，原工艺需要 100 个零部件，经过各种方法连接组装而成；若用超塑性钛合金，可以一次整体成形，既简易，又使尾舱架的重量减轻 1/3，而成本降低 55%。

可见，利用超塑性合金制造普通飞机或航天飞机可以减轻飞机的重量，节约材料，简化工艺，提高质量，降低成本，有很高的效益。这里我们也看到科学技术的进步对工业的巨大推动作用。

现在要问，怎样才能得到超塑性合金呢？

为什么会产生超塑行为？

科学家在大量的实验工作中发现，在两种特定的条件下，会出现合金的超塑行为。

大家都熟悉，水是液体(液相)，当温度降到 0℃ 时，会结成冰，冰是固体(固相)。水从液体变为固体称为相变。

在一些金属在受热达到一定的温度范围时，金属内部会产生异常的变化。如纯铁加热到 910℃ 左右时，内部原子排列的方式会发生变化，从一种(α 铁)转变成另一种铁(γ 铁)，称为相变。如果我们使温度在 910℃ 附近上下波动，同时对铁块施加作用力，如拉伸、挤压、扭曲等作用力，此时铁块会变得像麦芽糖一样，呈现相变超塑性行为，你想让它变成什么形状，它会乖乖地变成什么形状。铸铁通常称为生铁，家家户户使用的铁锅就是这种材料。铸铁就具有这种超塑性行为。大家知道，铸铁质硬而脆，加压力进行加工成形十分困难。后来发现铸铁有超塑性行为，所以工厂里利用超塑性行为来加工铸铁，当然是一个理想的方法。

试想想，大千世界，有千千万万种材料，有硬的，有软的，有脆的，有韧的，有透光的，有不透光的，有导电的，有绝缘的……真是千姿百态，奇妙异常。为了很好地利用各种材料，科学家对各种材料的性质进行了深入的研究，弄清了各种材料的性质就可以作为加工利用的依据，让众多性能各异的材料驯服地为人类服务，把世界装点得更加美好。

还有一种超塑性行为，产生在具有微细晶粒的有色金属和合金中。金属分为黑色金属(钢铁是黑色金属)和有色金属(如金、银、铜、铝、锌、镍等)。有色金属及其合金在一定温度范围内慢慢(低速)进行加工时会产生超塑性行为，工业上加工成形十分方便。图 2 为超塑性

形变的示意图。

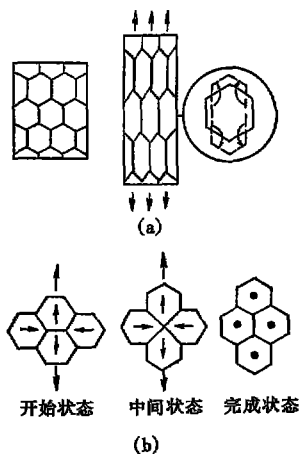


图2 常规变形和超塑性变形的内部晶粒变化示意图

(a) 常规塑性变形；(b) 超塑性变形

应用领域宽广

金属具有超塑性是在无意中发现的。早在70多年前的1920年，德国研究人员罗森海因在对锌-铝-铜合金进行研究时，发现这种合金与一般金属不同，经过冷轧后，具有暂时的很高的塑性。当时被工程技术界认为是一种奇异现象。但此后25年没有人认真对这一现象进行深入研究。一直到1945年前苏联学者包奇瓦尔，对这一奇异现象进一步进行研究，并在许多有色金属合金中，发现了延展性特别显著的奇异现象，于是他首先以“超塑性”来概括金属及其合金在一定条件下，出现的这一奇特的性质。

从此，对超塑性合金的寻找与研究成为许多科学家关注的课题。经过几十年的不懈探索，已经发现170多种合金材料具有超塑性，不少材料已实现工业应用。

第一个实用的超塑性合金是锌与22%铝的合金。这种合金最初是在英国实现商品化的，后来进入世界市场，特别是占有了发达国家的市场，其中包括美国、日本和加拿大等国。

锌-铝合金形成超塑性的条件，温度范围为250~270℃，压力范围为0.39~1.37兆帕。这样的条件在工厂里很容易实现。普通金属要进行加压力成形，压力范围高达2000~4000兆帕。而超塑性锌-铝合金成形所需的压力只有

普通金属的几千分之一。而且一次整体成形所需的时间很短，对小部件只要1~2分钟，对复杂部件也只要5~6分钟。

锌-铝合金的超塑性行为给我们带来的好处，不仅仅是加工成形压力低和节省加工时间，此外还有加工成形温度低，模具费用低。因为在超塑性状态合金成了“麦芽糖”，柔软得很，所以模具的材料可以用比较便宜的容易加工的铝合金或铜合金就可以了，不必用昂贵的难加工的硬质合金。这样模具的费用自然就便宜多了。

铝与33%的铜形成的合金是又一团“麦芽糖”，在500℃时，可以有大于2000%的超塑性延伸率，任你改变它的形状，因此，可以加工成各种复杂的构形。

后来又发现一种新型的铝合金，铝-钙-锌合金具有超塑性。这种新型铝合金的优点是强度高、比重轻、抗腐蚀。这种材料可以用在要求强度高、形状复杂、重量轻的部件上。

以金属镍为基体再加入铬、铁、铝等金属形成的镍基合金是一种耐热合金，具有高温下仍有很高的强度的优点；但是，很难进行锻造加工成形。经过科学家的不断实验找到了这种合金在一定条件下也具有超塑性。于是很快，在工业上得到应用，利用超塑性进行精密锻造，锻造压力小，一次成形，节约材料，减少工时，成品均匀性好，已经利用于蒸汽轮机的制造，效果令人满意。

优良的太空材料

钛合金是目前最重要的航空、航天和导弹材料。例如美国的F-14战斗机，大部分部件都是钛合金材料。作为飞机材料首先要求强度要大，经得住负荷，耐使用，同时要求材料的比重要小，做成的部件重量轻，还要求有良好的抗腐蚀特性，以便抵御风吹、日晒、雨淋。而钛合金正好满足上述要求，所以成为航空、航天和导弹的首选材料。但是钛合金很难加工，用一般塑性变形方法制造飞机上复杂形状的部件，十分困难。在困难面前工程技术人员执著寻找新的途径，希望既利用具有巨大优越性的钛合金材料，又有方便的加工方法。

107号超重元素的测定

一个放射化学合作组利用瑞士保罗谢勒研究所(PSI)的菲利普回旋加速器测定了107号超重元素铍(Bohrium)的挥发性。

该项研究的关键问题是要使用较长寿命(约15秒)的铍同位素,这是1999年年初在美国伯克利实验室中探测到的。

虽然科学家们已经鉴别出几个比铍还重的元素,包括去年在伯克利88英寸回旋加速器上发现的116号和118号元素,还有在杜布纳所发现的114号元素,但最重的这些元素在周期表里的正确位置仍在研究中。

在发现新元素的实验中,只展示了有很重的新原子核的存在,但没有得到有关它们的化学性质的信息。目前,106元素鐳(seaborgium)的化学性质已得到广泛研究。因此按照化学家的观点,目前的周期表研究到鐳为止。

号数超过100的元素一次只合成一个原子,而且生产率是非常低的,它们的半衰期也很短。这些元素是在实验室里通过加速了的离子

束轰击重靶核产生的。在所产生的大量反应产物中,有意义的原子核只占很小的一部分,它们是由几个中子蒸发而成的。在PSI,在一天的束流时间内,菲利普回旋加速器只能得到3个铍原子。

PSI的研究人员用氦-22轰击铍-249(半衰期为320天)。这个靶是在伯克利实验室制备的。轰击之后,反应产物立即扫入一个称为在线自动气体分析器(OLGA)的等温装置中。在那里,反应产物在含氧氯化氢气体中生成分子。这些氯化物再通过一个色层谱仪塔,其间更易挥发的样品在较低的温度时通过。在这一装置中,铍-267显示,它在180℃时挥发。

在通过色层谱仪塔后只找到4个铍-267原子,当时含有它们的氯化物分子沉积在一个旋转的探测器上。铍-267通过它的 α 衰变图形明确地鉴别出来,它先衰变为铷-263,然后衰变为镉-259,接着又衰变为钆-255。

(卜吉 秦宝 编)

近年来,已在实验中找到了解决的办法,就是走超塑性的路。已经研制成功超塑性钛合金,一种称为钛-铝-钒的合金,最大延伸率可达2000%。而过去一般塑性加工最大延伸率只有30%。这一简单的比较,就可以看到超塑性钛合金在飞机上的应用具有极大的好处。我们再来看超塑性钛合金加工成形的条件,然后与一般塑性加工作比较。

超塑性钛合金在680—790℃温度范围内加热,成形压力为1.40—2.10兆帕,加工时间只要8分钟。可以看出,加工压力低,成形时间短是其特点。这项技术与普通加工技术相比,有许多好处:使飞机部件的重量减轻了约30%,对航空和航天器来说这是十分重要的,可以大幅

度减小启动的动力;其次是航空航天器的制造成本可以降低一半;其三,简化工序,一次成形,甚至像吹玻璃器皿一样,吹塑成形。如人造卫星上的球形燃料箱,用钛合金制造,用普通方法无法成形,采用超塑性钛合金材料,可以通过吹塑一次成形,既快速又保证质量;其四,产品质量十分优秀。例如航空航天器上某些部件要压接在一起,一般方法需要高温高压情况下压接,制造很困难。采用超塑性压接,只要很小的压力,而且可以压接得很好,甚至用X射线也发现不了压接的焊缝,真是十分高超的技术。

所以,超塑性钛合金在航空、航天工业上的应用,是十分重要的事情,是一次重大技术革新,将产生巨大的效益。