



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200310103692.4

[43] 公开日 2004 年 6 月 2 日

[11] 公开号 CN 1500577A

[22] 申请日 2003. 10. 31

[21] 申请号 200310103692.4

[30] 优先权

[32] 2002. 10. 31 [33] US [31] 10/286579

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

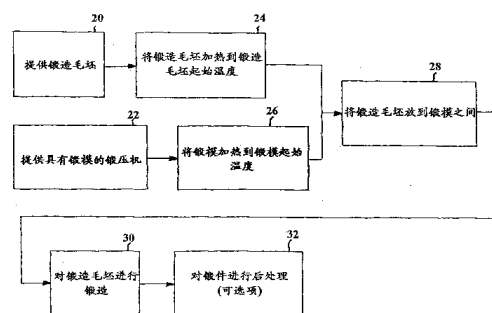
[72] 发明人 E·L·雷蒙 R·G·门兹斯  
T·O·戴尔 B·A·林克  
R·F·哈尔特 M·E·梅克利  
F·M·维萨利  
S·K·斯里瓦特萨[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 章社杲

权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称 镍基超耐热合金的准等温锻造

[57] 摘要

在具有锻模(52, 54)的锻压机(40)中锻造可锻镍基超耐热合金的锻造毛坯(56), 锻模(52, 54)由模具用镍基超耐热合金制成。将锻造毛坯(56)加热到约 1850°F 到约 1950°F 的锻造毛坯起始温度, 将锻模(52, 54)加热到约 1500°F 到约 1750°F 的锻模起始温度, 将锻造毛坯(56)放入到锻压机(40)内并位于锻模(52, 54)之间, 并在锻造毛坯起始温度下使用处于锻模起始温度的锻模(52, 54)来锻造该锻造毛坯(56), 以便产生出锻件(58), 从而完成锻造。



1. 一种用于锻造超耐热合金的方法，包括步骤：  
提供可锻镍基超耐热合金的锻造毛坯(56)；  
5 提供具有锻模(52,54)的锻压机(40)，所述锻模由模具用镍基合金制成；  
将所述锻造毛坯(56)加热到约 1850°F 到约 1950°F 的锻造毛坯起始温度；  
将所述锻模(52,54)加热到约 1500°F 到约 1750°F 的锻模起始温  
10 度；  
将所述锻造毛坯(56)放入到所述锻压机(40)内并处于所述锻模(52,54)之间；和  
在所述锻造毛坯起始温度下使用处于所述锻模起始温度的所述锻模(52,54)来锻造所述锻造毛坯(56)，从而产生出锻件(58)。  
15 2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述提供锻造毛坯(56)的步骤包括步骤：  
提供所述锻造毛坯(56)，其具有重量百分比为约 8%的钴、约 14%的铬、约 3.3%的钼、约 3.5%的钨、约 3.5%的铝、约 2.5%的钛、约 3.5%的铌、约 0.05%的锆、约 0.07%的碳、约 0.01%的硼的公称成分，余量  
20 为镍和微量元素。  
3. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述提供锻造毛坯(56)的步骤包括步骤：  
以固结粉末的形式来提供所述锻造毛坯(56)。  
4. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述提供锻压机(40)  
25 的步骤包括步骤：  
提供所述锻模(52,54)，其具有重量百分比为约 5 到约 7%的铝、约 8 到约 15%的钼、约 5 到约 15%的钨、最高可达约百万分之 140 份的镁的公称成分，不含有稀土元素，余量为镍和杂质。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述加热锻造毛坯(56)的步骤和所述加热锻模(52,54)的步骤包括步骤:

在空气中加热所述锻造毛坯(56)和所述锻模(52,54)。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述锻造步骤包括  
5 步骤:

在空气中锻造所述锻造毛坯(56)和所述锻模(52,54)。

7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述加热锻造毛坯(56)的步骤包括步骤:

10 将所述锻造毛坯(56)加热到约 1900°F 的所述锻造毛坯起始温度,  
以及,

所述加热锻模(52,54)的步骤包括步骤:

将所述锻模(52,54)加热到约 1700°F 的所述锻模起始温度。

8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述锻造步骤包括  
步骤:

15 在超过约 0.02/秒的锻造公称应变速率下锻造所述锻造毛坯(56)。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在完成所述锻造步骤后不对所述锻件进行超溶线退火。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述锻造步骤包括  
步骤:

20 将所述锻造毛坯(56)锻造成燃气涡轮发动机部件的前身的锻件。

11. 一种用于锻造超耐热合金的方法,包括步骤:

提供镍基合金固结粉末的锻造毛坯(56);

提供具有锻模(52,54)的锻压机(40),所述锻模(52,54)由模具用镍基  
超耐热合金制成;

25 将所述锻造毛坯(56)在空气中加热到约 1850°F 到约 1950°F 的锻造毛坯起始温度;

将所述锻模(52,54)在空气中加热到约 1500°F 到约 1750°F 的锻模  
起始温度;

将所述锻造毛坯(56)放入到所述锻压机(40)内并处于所述锻模(52,54)之间；和

在所述锻造毛坯起始温度下使用处于所述锻模起始温度的所述锻模(52,54)来在空气中并以大于约 0.02/秒的公称应变速率锻造所述锻造毛坯(56)，从而产生出燃气涡轮发动机部件的前身的锻件(58)。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述提供锻造毛坯(56)的步骤包括步骤：

提供所述锻造毛坯(56)，其具有重量百分比为约 8%的钴、约 14%的铬、约 3.3%的钼、约 3.5%的钨、约 3.5%的铝、约 2.5%的钛、约 3.5%的铌、约 0.05%的锆、约 0.07%的碳、约 0.01%的硼的公称成分，余量为镍和微量元素。

13. 根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述提供锻压机(40)的步骤包括步骤：

提供所述锻模(52,54)，其具有重量百分比为约 5 到约 7%的铝、约 8 到约 15%的钼、约 5 到约 15%的钨、最高可达约百万分之 140 份的镁的公称成分，不含有稀土元素，余量为镍和杂质。

14. 根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述加热锻造毛坯(56)的步骤包括步骤：

将所述锻造毛坯(56)加热到约 1900°F 的所述锻造毛坯起始温度，以及，

所述加热锻模(52,54)的步骤包括步骤：将所述锻模(52,54)加热到约 1700°F 的所述锻模起始温度。

15. 根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，在完成所述锻造步骤之后不对所述锻件进行超溶线退火。

## 镍基超耐热合金的准等温锻造

### 5      技术领域

本发明涉及镍基超耐热合金的锻造，更具体地说，涉及在空气中进行的这种锻造。

### 背景技术

10          镍基超耐热合金用于具有最苛刻性能要求并经历最严酷环境条件的飞行器燃气涡轮发动机的部件中。可铸镍基超耐热合金例如用作涡轮叶片或涡轮导向器叶片。可锻镍基超耐热合金例如用作转子盘和转子轴。本发明涉及可锻镍基超耐热合金。

可锻镍基超耐热合金最初是以由熔融金属铸造而成的铸造-固结  
15          坯料或者是由粉末固结而成的固结粉末坯料的形式来提供的。由于固结粉末坯料具有均匀且控制得很好的初始结构和较细的粒度，因此对于大多数应用均优选粉末固结坯料作为原材料。无论在何种情况下，在金属加工过程如锻造或挤压的一系列工序中，坯料的尺寸减小，之后进行机加工。在最简单的锻造形式中，坯料被置于锻压机中的两个锻模之间。通过锻压机将锻模压在一起，以使坯料的厚  
20          度减小。

锻造条件的选择取决于几项因素，包括镍基超耐热合金的性质和冶金特性以及锻模的性质。锻模必须具有足够的强度以使被锻造的材料产生变形，而且在完成锻造和热处理操作之后，锻造后的超  
25          耐热合金必须具有所需的性质。

目前，镍基超耐热合金如 Rene™ 95 是在约 1900°F-2000°F 或更高的温度下使用 TZM 钼模来等温锻造的。被锻造的超耐热合金与锻模材料相结合，从而允许进行锻造，而且超耐热合金在锻造和热处

理完成之后具有所需的性质。然而，温度、被锻造的超耐热合金和锻模材料的这一组合要求锻造过程在真空或惰性气体环境中进行。真空或惰性气体环境的要求显著地增加了锻造工艺的复杂性和成本。

- 5           需要一种锻造镍基超耐热合金的改进方法，其可实现所需的性质并降低锻造的成本。本发明可满足这一需求，还提供了相关的优点。

### 发明内容

- 10           本发明提供了一种用于锻造镍基超耐热合金如 Rene™ 95 的方法。该方法允许锻造过程在空气中进行，结果能够显著地节约成本。该锻造还相对较快速，因而降低了成本。最终的微观结构具有所需的晶粒结构，而且在大多数情况下不需要进行超溶线(supersolvus)的最终退火，从而不会涉及临界晶粒长大(CGG)。

- 15           锻造超耐热合金的方法包括步骤：提供可锻镍基超耐热合金的锻造毛坯，以及提供具有由模具用镍基超耐热合金制成的锻模的锻压机。将锻造毛坯加热到约 1850°F 到约 1950°F（最好为约 1900°F）的锻造毛坯起始温度，并且将锻模加热到约 1500°F 到约 1750°F（最好为约 1700°F）的锻模起始温度。将锻造毛坯放入锻压机中并处于锻模之间，并在锻造毛坯起始温度下采用处于锻模起始温度的锻模来进行锻造，从而产生出锻件，例如燃气涡轮发动机部件的前身。这种部件的例子包括转子盘和转子轴。加热步骤和锻造步骤均最好在空气中进行。这种锻造最好以相对较高的应变速率来进行，至少且优选超过约 0.02/秒的速率。

- 25           锻造毛坯优选由 Rene™ 95 合金制成，其具有重量百分比为约 8% 的钴、约 14% 的铬、约 3.3% 的钼、约 3.5% 的钨、约 3.5% 的铝、约 2.5% 的钛、约 3.5% 的铌、约 0.05% 的锆、约 0.07% 的碳、约 0.01% 的硼的公称成分，余量为镍和微量元素。锻造毛坯可以固结粉末或铸造-锻

造的材料来提供。

锻模可由任何可用的铸模用镍基合金如镍基超耐热合金制成，但最好具有重量百分比为约 5 到约 7% 的铝、约 8 到约 15% 的钼、约 5 到约 15% 的钨、最高可达约百万分之 140 份的镁（最好为约百万分之 140 份的镁）的公称成分，不含有稀土元素，余量为镍和杂质。

在锻造步骤后不需要对锻件进行超溶线退火。

通过本方法可将可锻镍基超耐热合金锻造成具有与准等温锻件基本上相同的细晶粒和均匀微观结构的锻件，不存在任何临界晶粒长大。锻造可以快速地完成，并且锻模处于比锻造毛坯低得多的温度下。

通过参考附图并从对优选实施例的下述详细介绍中可以清楚本发明的其它特征和优点，附图通过示例显示了本发明的原理。然而本发明的范围并不局限于此优选实施例。

## 附图说明

图 1 是用于实施本发明方法的流程图；

图 2 是锻压机和被锻造的工件的示意性正视图；和

图 3 是锻件的示意性透视图。

## 具体实施方式

图 1 显示了用于实施本发明的优选方法。在步骤 20 中提供锻造毛坯。锻造毛坯由可锻镍基合金、最好是可锻镍基超耐热合金制成。在本文中，合金在其具有比任何其它元素更多的镍元素时称为镍基合金，而在其被  $\gamma'$  相或相关相的沉淀作用强化时称为镍基超耐热合金。可以使用任何可用的可锻镍基合金。用作锻造毛坯的特别令人关注的镍基超耐热合金为 Rene™ 95 合金，其具有重量百分比为约 8% 的钴、约 14% 的铬、约 3.3% 的钼、约 3.5% 的钨、约 3.5% 的铝、约 2.5% 的钛、约 3.5% 的铌、约 0.05% 的锆、约 0.07% 的碳、约 0.01% 的硼的

公称成分，余量为镍和微量元素。

5 镍基超耐热合金可以任何可行的形式来供应，例如铸造-锻造的坯料或固结粉末坯料。优选固结粉末坯料。这些坯料是通过挤压或其它可行的工艺将所选超耐热合金的粉末固结起来而制成的。固结粉末坯料比铸造-锻造的坯料更佳，这是因为其具有更细更均匀的微观结构，因而优选固结粉末坯料以实现良好的化学均匀性、良好的锻造均质性，并减少了裂纹起始部位。

10 锻造毛坯具有一定的尺寸和形状，其选择成使得锻件在锻造后具有所需的尺寸和形状。在本领域中已经知道用于选择起始锻造毛坯的尺寸和形状以生产出所需的最终尺寸和形状的工艺。

15 在步骤 22 中提供锻压机和锻模。可以使用任何可用的锻压机，图 2 示意性地显示了基本的锻压机 40。该锻压机 40 具有固定的下模板 42、固定的上模板 44，以及从下模板 42 上支撑上模板 44 的固定立柱 46。可动上模板 48 在立柱 46 上滑动，并由上模板 44 上的驱动电机 50 上下驱动。下锻模 52 是固定的并位于下模板 42 上。上锻模 54 是可动的并固定在上模板 48 上，因而可随上模板 48 上下移动。锻造毛坯 56 定位在上锻模 54 和下锻模 52 之间。如果需要的话，可在锻模 52 和 54 周围设置加热器 57，在这里其显示为感应加热线圈，以帮助在锻造冲程中将锻模保持在所需的锻模温度范围内。在锻造冲程中允许锻模 52 和 54 存在温度差异，但锻模 52 和 54 通常保持在指定的锻模温度范围内。

25 锻造毛坯 56 处于上锻模 54 和下锻模 52 之间，并通过上锻模 54 的向下运动而在公称应变速率下受压变形。上锻模 54 和下锻模 52 可以是平板，或者它们可具有图案以使最终锻件具有压印在其上的图案。图 3 是采用带图案的锻模所产生的具有图案面 60 的代表性锻件 58。

锻模 52 和 54 由模具用镍基超耐热合金制成，其中在锻造操作的过程中，在其各自的温度和公称应变速率下，模具用镍基超耐热

合金具有不小于可锻镍基超耐热合金的流动应力的蠕变强度。可使用任何可行的镍基超耐热合金作为模具用镍基超耐热合金。锻模 52 和 54 优选制成具有重量百分比为约 5 到约 7% 的铝、约 8 到约 15% 的钼、约 5 到约 15% 的钨，最高可达约百万分之 140 份的镁（最好为约百万分之 140 份的镁）的公称成分，不含有稀土元素，余量为镍和杂质。

在步骤 24 中将锻造毛坯 56 加热到锻造毛坯起始温度，其为约 1850°F 到约 1950°F，最好为约 1900°F。由于锻造毛坯在更低的温度下存在过高的流动应力，因此锻造毛坯起始温度不可低于约 1850°F。由于无法达到锻件的所需最终微观结构，因此锻造毛坯起始温度不可高于约 1950°F。加热步骤 24 最好在炉内的空气中进行。

在步骤 26 中将锻模 52 和 54 加热到锻模起始温度，其为约 1500°F 到约 1750°F，最好为约 1700°F。锻模起始温度不可低于约 1500°F，这是因为锻模 52 和 54 与锻造毛坯 56 在随后工序中的接触将导致锻造毛坯 56 在其表面处形成裂纹。锻模起始温度不可高于约 1750°F，这是因为在更高的温度下，锻模的材料会丧失其强度，以至其不能再能够进行操作以完成锻造。加热步骤 26 最好通过对处于锻压机 40 中的锻模 52 和 54 进行感应加热而在空气中进行。

在步骤 28 中，将锻造毛坯以图 2 所示的方式置于锻模 52 和 54 之间。

在步骤 30 中采用锻模 52 和 54 来对锻造毛坯进行锻造。该锻造工序 30 最好在空气中进行。锻造的公称应变速率最好大于约 0.02/秒。希望锻造的公称应变速率可达到这样高的值以获得最佳的晶粒结构。“公称”应变速率由上模板 48 运动的整体速度来确定，并归一化成在平行于上模板 48 的运动方向所测得的毛坯 56 的高度。在锻造的局部过程中，实际应变速率可以更高或更低一些。

在锻造步骤 30 开始时，锻造毛坯处于锻造毛坯起始温度，而锻模 52 和 54 处于锻模起始温度。在它们接触的位置处，锻造毛坯趋

于轻微地变冷而锻模趋于轻微地变热，而在其它位置，随着它们将热量传递到周围的环境空气中，锻造毛坯和锻模都趋于变冷。然而，在锻造步骤 30 期间的温度变化不是很大，这是因为锻造进行得很快。作为选择，可以对锻模 52 和 54 加热，但希望用加热器 57 对其加热，  
5 以保证它们在整个锻造步骤 30 期间处于锻模起始温度的范围内。

锻造步骤 30 不是等温的，这是因为锻造毛坯 56 处于一个温度范围内，而锻模 52 和 54 处于另一温度范围内。它通常也不处于恒定的应变速率下。在进行锻造步骤 30 中，锻压机在上模板 48 的尽可能高的运动速度下操作，不会使锻模 52 和 54 上的负载增大到超  
10 过其所允许的蠕变水平，超过其所允许的蠕变水平将导致锻模产生永久性变形。

加热步骤 24 和 26 以及锻造工序 30 最好在空气中进行。与用于锻造镍基超耐热合金的现有技术工艺所要求的在真空或惰性气体中进行锻造相比，在空气中进行的锻造显著地降低了锻造操作的成本。  
15 对锻造操作过程中的锻模材料和温度范围以及锻造的温度范围的精心选择保证了可在锻件中得到所需的结构，而且锻造可在空气中进行，不会因过度氧化而损坏锻模 52 和 54 或锻造毛坯 56。

在完成工序 30 的锻造操作之后，将锻件 58 从锻压机 40 中取出。锻件 58 可在这样锻造出的状态下使用，或者其可在步骤 32 中进行后处理。在优选情况下，Rene™ 95 合金的锻件不需要在高于  $\gamma'$  溶线温度的温度下退火。相反，锻件可在低于  $\gamma'$  溶线温度的退火温度下退火，例如对 Rene™ 95 合金来说为约 2030°F。其它类型的后处理 32  
20 例如包括清洁处理、其它类型的热处理、额外的金属加工、机加工，等等。

虽然出于介绍的目的已经详细介绍了本发明的特定实施例，然而在不脱离本发明的精神和范围的前提下可对其进行各种变更和改进。因此，本发明只受到所附权利要求的限制。  
25

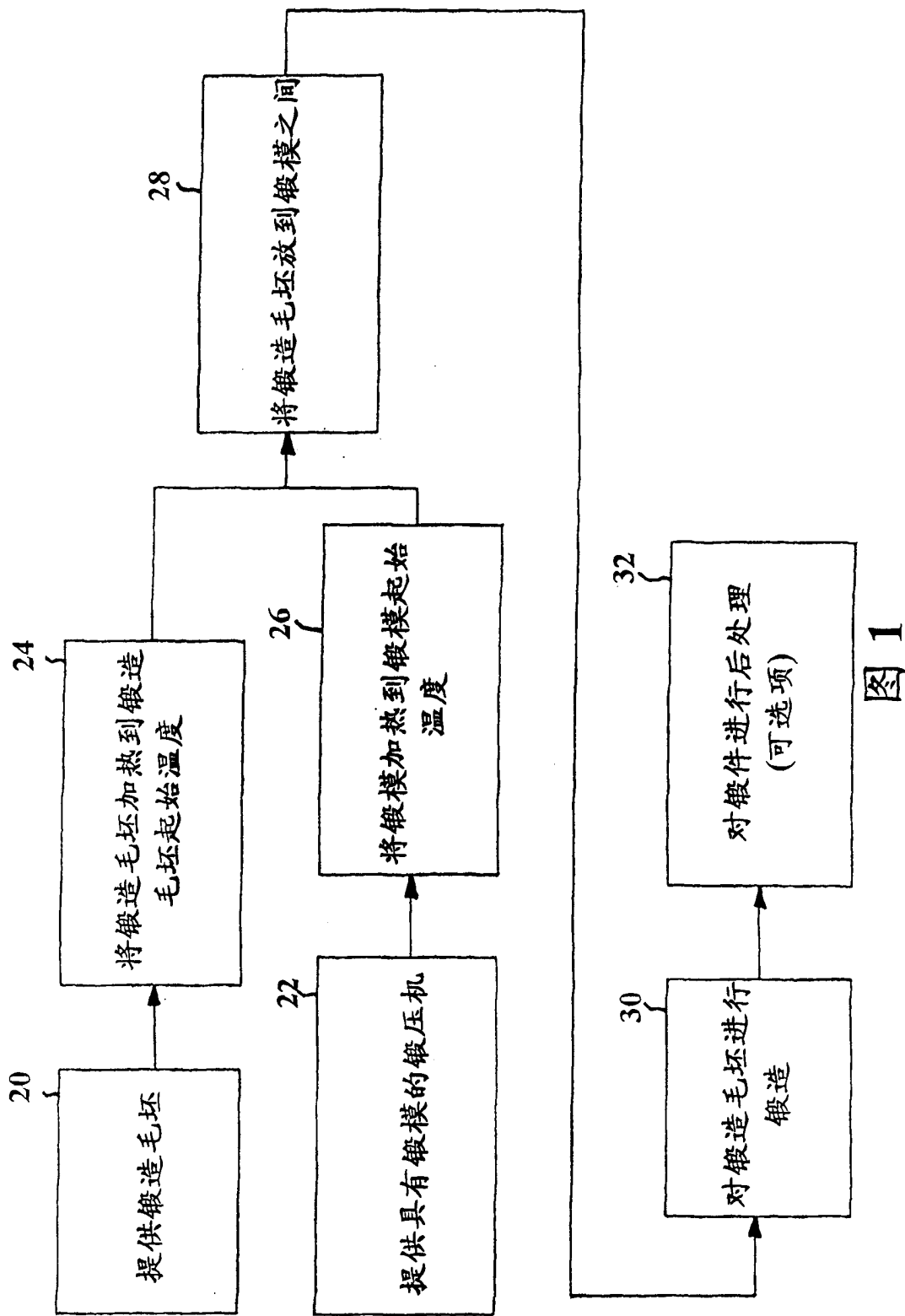


图 1

图 2

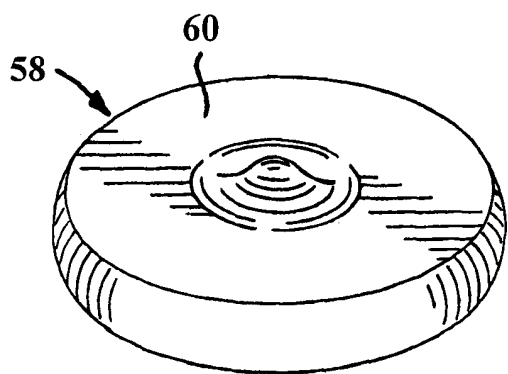
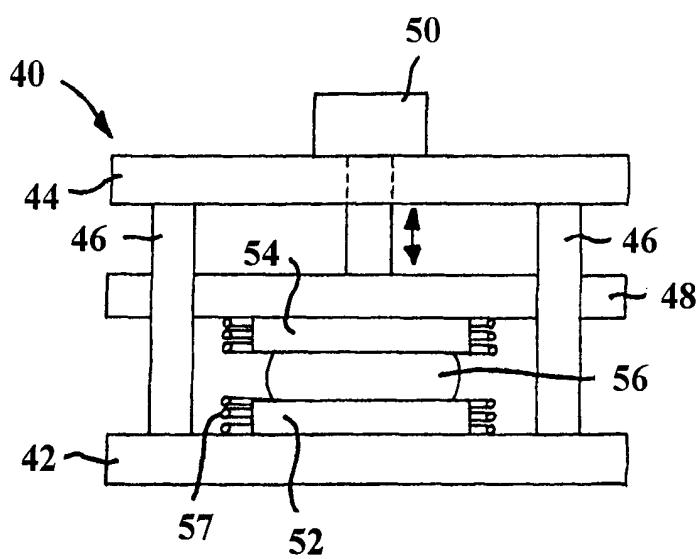


图 3