

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510132763.2

[51] Int. Cl.

B23H 7/38 (2006.01)

B23H 9/04 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 4 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1311944C

[22] 申请日 2005.12.26

[21] 申请号 200510132763.2

[73] 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100080 北京市海淀区北四环西路 15
号

[72] 发明人 杨明江 王之桐 李正阳 彭林华
韩延良

[56] 参考文献

CN2209008Y 1995.10.4

CN1357427A 2002.7.10

CN2413812Y 2001.1.10

激光诱导放电加工法 双火, 国外激光, 第
346 卷 1994

激光诱导放电加工中的延时放电现象实验
研究 王之桐等, 激光杂志, 第 23 卷第 2 期
2002

激光诱导放电毛化技术中放电坑的表面形
貌研究 李正阳等, 应用激光, 第 24 卷第 1 期
2004

审查员 孙建梅

[74] 专利代理机构 北京中创阳光知识产权代理有
限责任公司

代理人 尹振启

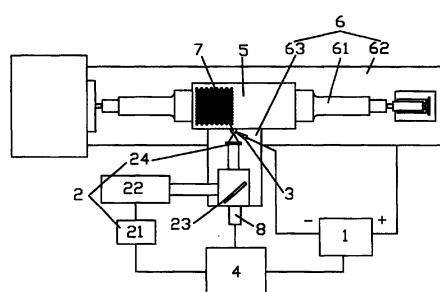
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称

高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法及
该方法的应用

[57] 摘要

本发明公开了一种高重频脉冲激光诱导电极定
向放电的方法, 将被加工工件与放电电极分别连
接脉冲电源的两极, 使激光发生器产生的高重频脉冲
激光照射被加工工件表面, 利用激光照射时在照射
点处产生的等离子体羽作为触发开关, 诱导放电电
极向被加工工件上激光照射点处高重频定向放电,
其中高重频脉冲激光的频率与脉冲电源的频率相匹
配, 放电电极的位置与激光照射点的位置相协调。
采用上述方法后, 由于首先使激光照射到被加工工
件表面产生等离子体羽, 在等离子体羽的诱导下,
使设置在激光照射点附近的放电电极放电, 激光的
指向性好、毛化分布与均匀性可控制性好、工作频
率高, 而放电电源的放电功率可根据需要提高。



- 1、一种利用激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：将激光照射两放电电极中的其中一个工件电极，利用激光照射点处产生的等离子体羽作为触发开关，诱导另一工具电极向被激光照射的工件电极上的照射点处定向放电。
- 2、一种高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：将被加工工件与放电电极分别连接脉冲电源的两极，使激光发生器产生的高重频脉冲激光照射被加工工件表面，利用激光照射时在照射点处产生的等离子体羽作为触发开关，诱导放电电极向被加工工件上激光照射点处高重频定向放电，其中高重频脉冲激光的频率与脉冲电源的频率相匹配，放电电极的位置与激光照射点的位置相协调。
- 3、如权利要求 2 所述的高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述被加工工件表面上的激光照射点与被加工工件上相对所述放电电极的物理空间最近点相对应。
- 4、如权利要求 2 所述的高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述放电电极为针状电极。
- 5、如权利要求 2 所述的高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述放电电极为旋转盘状电极，该盘状电极圆弧边缘的断面形状为针状。
- 6、如权利要求 2 所述的高重频率脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述激光发生器包括依次连接的 YAG 激光器、声-光开关驱动源、反射镜、聚焦透镜。
- 7、如权利要求 2 所述的高重频率脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述放电电极与所述脉冲电源负极相连，所述被加工工件与所述脉冲电源正极相连。
- 8、如权利要求 4 所述的高重频率脉冲激光诱导电极定向放电的方法，其特征在于：所述声-光开关驱动源及所述脉冲电源分别与控制装置相连接，该控制装置控制声-光开关驱动源与脉冲电源，使激光诱导和电极放电同步进行。
- 9、一种如权利要求 2 至 8 任一所述的高重频率脉冲激光诱导电极定向放电的方法的应用，其特征在于：该方法用于金属轧辊的激光毛化。

高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法及该方法的应用

技术领域

本发明涉及一种金属材料的表面加工方法，尤其涉及一种高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法及该方法的应用，

背景技术

优质的冷轧薄钢板表面要求具有一定的粗糙度形貌，以改善钢板的成型性能和涂镀性能。生产优质冷轧薄板，首先要对轧机工作辊表面进行毛化造形，然后轧机使用毛化轧辊轧制出所需粗糙度形貌的冷轧毛化薄板。目前，轧辊的毛化技术包括喷丸毛化（SBT），电火花毛化（EDT），激光毛化（LT）和电子束毛化（EBT）。喷丸毛化是用压缩空气把硬质钢砂高速喷射到轧辊表面，依靠钢砂的动能冲击使轧辊表面塑性变形而改变表面形貌；电火花毛化是用多对电极，在电介质油液中对轧辊表面放电熔凝造形；激光毛化技术又分为两种，CO₂激光毛化是采用高速旋转的机械斩波器阻断聚焦的激光束形成脉冲激光，对轧辊表面进行熔凝毛化。YAG 激光毛化是通过声—光调 Q 开关控制激光腔内的增益，从而形成高重复频率脉冲激光束对轧辊表面实现毛化，如本申请人在 1992 年提出的专利申请；电子束毛化是用电子枪产生电子束，经磁透镜聚焦对辊面实行毛化，毛化系统和轧辊必须在真空环境下加工。以上毛化方法从轧辊表面毛化的粗糙形貌看，其表面形貌结构又分为两类：随机分布毛化和可控分布毛化，喷丸毛化及电火花毛化属不可控的随机分布毛化，而激光毛化和电子束毛化属于可控分布毛化。

轧辊的随机分布毛化，是由高速喷射砂丸反复撞击辊面或通过多对电极在介质油中反复向辊面多次放电熔凝而成，由于毛化过程不可控制，辊面的作用强化点常有重叠，粗糙度均匀性较差，而且强化点之间存在大量连通的微细沟槽，不利于受力状况下润滑油、液的储存，在板材成型时，不利于材料变形流动，在一定程度上影响了深冲性能。

采用激光束和电子束对轧辊表面的可控毛化，由于激光和真空中的电子束均是直线传播，方向性极佳，在计算机控制下，每个毛化点在辊面上的作用位置可精确控制，因此毛化粗糙度的均匀性好。同时，毛化点为均布的孤立微坑存在，每个微坑储油润滑不易流失，在板材成形时能有效降低摩擦系数，提高深冲和涂镀性能。因此在开发生产高质量冷轧薄板带箔时，可控分布毛化技术越来越显示出优势。但可控分布毛化，

均是采用单束光（或电子束）毛化，其毛化速度不如喷丸毛化和电火花毛化（往往采用多对电极放电）快。特别是固态 YAG 激光毛化调制高重复频率所必须的声—光 Q 开关受驱动功率限制，难使激光毛化激光器功率进一步提高，以满足轧辊更高速毛化和高粗糙度毛化的需要。

发明内容

本发明的目的在于提供一种可控制性好、功率高、速度快的高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法及该方法的应用。

为达到上述目的，本发明的技术解决方案为：

一种利用激光诱导电极定向放电的方法，将激光照射两放电电极中的其中一个工件电极，利用激光照射点处产生的等离子体羽作为触发开关，诱导另一工具电极向被激光照射的工件电极上的照射点处定向放电。

一种高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，将被加工工件与放电电极分别连接脉冲电源的两极，使激光发生器产生的高重频脉冲激光照射被加工工件表面，利用激光照射时在照射点处产生的等离子体羽作为触发开关，诱导放电电极向被加工工件上激光照射点处高重频定向放电，其中高重频脉冲激光的频率与脉冲电源的频率相匹配，放电电极的位置与激光照射点的位置相协调。

进一步，所述被加工工件表面上的激光照射点与被加工工件上相对所述放电电极的物理空间最近点相对应。

进一步，所述放电电极为针状电极。

进一步，所述放电电极为旋转盘状电极，该盘状电极圆弧边缘的断面形状为针状。

进一步，所述激光发生器包括依次连接的 YAG 激光器、声—光开关驱动源、反射镜、聚焦透镜。

进一步，所述放电电极与所述脉冲电源负极相连，所述被加工工件与所述脉冲电源正极相连。

进一步，所述声—光开关驱动源及所述脉冲电源分别与控制装置相连接，该控制装置控制声—光开关驱动源与脉冲电源，使激光诱导和电极放电同步进行。

一种如上任一所述的高重频率脉冲激光诱导电极定向放电的方法的应用，该方法用于金属轧辊的激光毛化。

采用上述方法后，由于首先使激光照射到被加工工件表面，使工件表面产生等离子体羽，然后在等离子体羽的诱导下，使设置在激光照射

点附近的放电电极放电，激光的指向性好、毛化分布与均匀性可控制性好、工作频率高，而放电电极的放电功率可根据需要提高，因此本装置达到了毛化功率大、频率高的效果，同时又克服了可控性差的问题，及单纯 YAG 激光毛化能量转换效率低、功率难以提高等缺点，并且，实验表明，单独的激光毛化、电火花毛化后辊面粗糙度 R_a 难以达到 $5.0 \mu m$ ，而本发明的高重频 YAG 激光诱导定向放电毛化方法，可使辊面毛化粗糙度 R_a 在 $1.5—14.0 \mu m$ 大范围可控；另外，放电电极采用旋转电极后，在高重频脉冲激光诱导放电过程中，由于圆盘的不停转动，每次放电作用在圆盘边缘的不同点上，这就大大减小了持续放电造成的电极尖端的过热烧蚀现象，另外，以圆盘的圆周代替针状电极的尖端，使电极放电点由一个点扩展到整个圆周线上，相当于增加了电极数量，减少了电极上的热量累计，同时，由于圆盘热容量大，圆盘的转动又使散热加快，从而显著提高放电极的使用寿命，使轧辊毛化更加均匀；并且，所述放电电极与所述脉冲电源负极相连，被加工工件与所述脉冲电源正极相连，采用负极放电的方法使被加工工件表面得到的熔凝斑轮廓清晰、直径大小变化不大。

附图说明

- 图 1 为本发明所用装置的结构示意图；
- 图 2 为电源系统的电路连接图；
- 图 3A 为正极放电时得到的熔凝斑的效果图；
- 图 3B 为负极放电时得到的熔凝斑的效果图；
- 图 4A 为大气环境下单纯 YAG 激光毛化得到的辊面图；
- 图 4B 为大气环境下本发明毛化得到的辊面图；
- 图 5 为旋转电极的结构示意图。

具体实施方式：

本发明高重频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，使激光照射到被加工工件表面，在工件表面产生等离子体羽，然后等离子体羽作为触发开关，诱导设置在激光照射点附近的放电电极放电。

其原理如图 1 所示，所述激光为高重频脉冲激光，由激光发生装置 2 发出，所述激光发生装置 2 包括依次连接的声-光开关驱动源 21、YAG 激光器 22、反射镜 23、聚焦透镜 24，声-光开关驱动源 21 连接控制装置 4，该控制装置选用计算机。

靠近聚焦透镜 24 的焦点位置处设有放电电极 3，放电电极 3 连接电源系统 1，该电源系统 1 为一套脉冲快速充放电电源系统，电极 3 可选用

针状电极，需加工的金属工件 5 连接电源系统 1 的正极，在放电电极 3 与被加工工件 5 之间组成一对相距 1mm 的放电电极，由于放电电极 3 与被加工工件 5 之间空气层的绝缘作用，电源系统 1 不能通过放电电极 3 自行向被加工工件 5 放电；每当 YAG 激光器 22 的声-光开关驱动源 21 接受控制装置 4 发出的开启脉冲电子信号后，激光器 22 即发出一个微秒宽度的激光脉冲，激光脉冲经聚焦透镜 24 聚焦后，光斑直径为 50-100 微米、能量密度高于 10^6W/cm^2 ，使被加工工件 5 的被照射部位瞬时加热汽化，产生明亮的等离子体羽 7，这种带有大量带电粒子的等离子体羽在放电电极 3 与被加工工件 5 之间形成放电通道，诱导快速充放电电源系统 1 自动完成放电，YAG 激光器 22 发出的高重频脉冲激光的频率与电源系统 1 的频率相匹配，当贮能电容由于放电电能释放，电压降低到一定值后，放电过程停止，这时在被加工工件 5 表面产生一熔凝微坑。计算机发出频率和宽度可调的 TTL 信号脉冲，分别控制声-光开关驱动源与电源，使激光诱导和电极放电同步进行。

所述被加工工件 5 表面上的激光照射点与被加工工件 5 上相对所述放电电极 3 的物理空间最近点相对应，使放电电极 3 能够向激光照射点定向放电。

另外，放电电极放电数千次后，电极尖端就会因过热而严重烧蚀变形，以致无法有效地进行激光诱导放电，为避免这种情况，所述放电电极 3 还可采用如图 5 所示旋转电极，该旋转电极包括圆盘电极 31、旋转轴 32、电动机 34，所述圆盘电极 31 为一直径约 100-160MM、厚 5-10MM 的圆盘，圆盘电极圆弧边缘断面为针状。所述圆盘 31 由钢、铜及其合金或其它耐烧蚀的导电金属材料加工而成，圆盘电极 31 的中心开孔，通过该孔安装于旋转轴 32 上，与旋转轴 32 紧密配合，旋转轴 32 由导电金属材料制成，一端装有槽形皮带轮 35，圆盘电极 31、旋转轴 32、电动机 34、皮带轮 35 通过轴承安装于绝缘材料制成的支架 36 上，电动机 34 通过皮带轮 35 上的传动皮带 37 带动圆盘电极 31 旋转，圆盘电极 31 的转速可由电源调控；旋转轴 32 的另一端连接一电刷片 38，电刷片 38 安装在支架 36 上，电刷片 38 与电源相连通，电刷片 38、旋转轴 32、圆盘电极 31 组成导电通道连接电源的一个输出极，而电源的另一输出极连接被加工工件，圆盘电极 31 的边缘与被加工工件之间保持微小间隙。

电源系统 1 的电路结构如图 2 所示，为保证在高重频工作状况下激光能可靠诱导放电，该充放电电源回路为一高压回路和一低压回路并联而成，高压回路的作用是易使两电极间诱导放电击穿，低压回路则提供击穿后所需的大电流，图 2 中，m、n 为两相电源低压整流后输入端，输入电压为 100-500 伏特，p、q 为两相电高压整流后输入端，输入电压为 300-1000 伏特，C1、IGBT1、R1 相互串联构成低压充电回路对电容 C2 充电，C2 通过 IGBT2，在激光诱导情况下，经放电电极向待加工轧辊表面

放电。C4、IGBT4、R2 相互串联构成高压充电回路对电容 C3 充电，C3 通过 IGBT3，在激光诱导情况下，经放电电极向待加工轧辊表面放电。D3 为隔离二极管，D1 为续流二极管，R1 为限流电阻。控制模块 IGBT1、IGBT2、IGBT3、IGBT4 分别连接控制装置 4，由控制装置 4 控制触发开通，开通时间决定了放电脉冲宽度可在 10 微秒-1 毫秒范围内可调，由于 IGBT 可以 20KHZ 的频率对电容 C2、C3 充电，因此可满足高重复频率工作要求。

在放电电极 3 与被加工工件 5 之间的第一次放电完成后，充放电电源系统 1 快速充电恢复到额定电压，待第二个激光脉冲到来，再次在被加工工件表面产生出等离子体羽后，放电通道再次接通，放电电极 3 与被加工工件 5 之间完成第二次激光诱导放电。整个系统在声-光开关调制的 YAG 激光脉冲控制下，以很高的频率反复完成这种可控的充放电过程。

上述高频脉冲激光诱导电极定向放电的方法，可用于使轧辊表面毛化，用轧辊代替上述被加工工件 5，使激光发生装置发出的激光照射到轧辊表面，使轧辊表面产生等离子体羽，然后在等离子体羽的诱导下，设置在轧辊表面上激光照射点附近的放电电极放电，使轧辊表面产生熔凝微坑，使轧辊毛化。

上述方法不仅可用于轧辊、压辊表面粗糙度形貌的毛化，而且也可通过改变放电参数，用于金属表面的热处理、熔覆、表面合金化等多种金属处理方法，形成一种光电结合的新的金属材料表面加工方法。

上述方法既保留了激光毛化方法中光的指向性好、工作频率高、毛化分布与均匀性可控制性好的优点，又保留了电火花毛化功率大的优点。同时又克服了单纯电火花毛化放电可控性差、单纯激光毛化能量转换效率低、功率难以提高的缺点，将激光毛化和电火花毛化两种加工方法有机结合起来，形成一种对金属材料表面光电复合加工的新方法。

图 4A 所示为扫描电镜拍摄的单独用激光对轧辊表面毛化后的表面形貌，图 4B 为本发明方法对轧辊表面毛化后的表面形貌，实验表明，单独的激光毛化、电火花毛化后辊面粗糙度难以达到 5.0，而本发明方法用于轧辊表面毛化可使辊面毛化粗糙度在 1.5-14.0 的大范围内可控。

当放电电极与轧辊表面之间在大气环境下放电时，随着放电电流脉冲宽度的延长，放电通道直径由于热效应将发生膨胀，致使轧辊表面熔凝斑直径变大，轮廓的光滑度变差，为减小这种影响，在本发明装置中采用负极放电，即使放电电极 3 接脉冲电源 1 的负极，待加工轧辊 5 接电源正极，图 3A 所示为正极放电时得到的熔凝斑的效果图，图 3B 所示为负极放电时得到的熔凝斑的效果图。

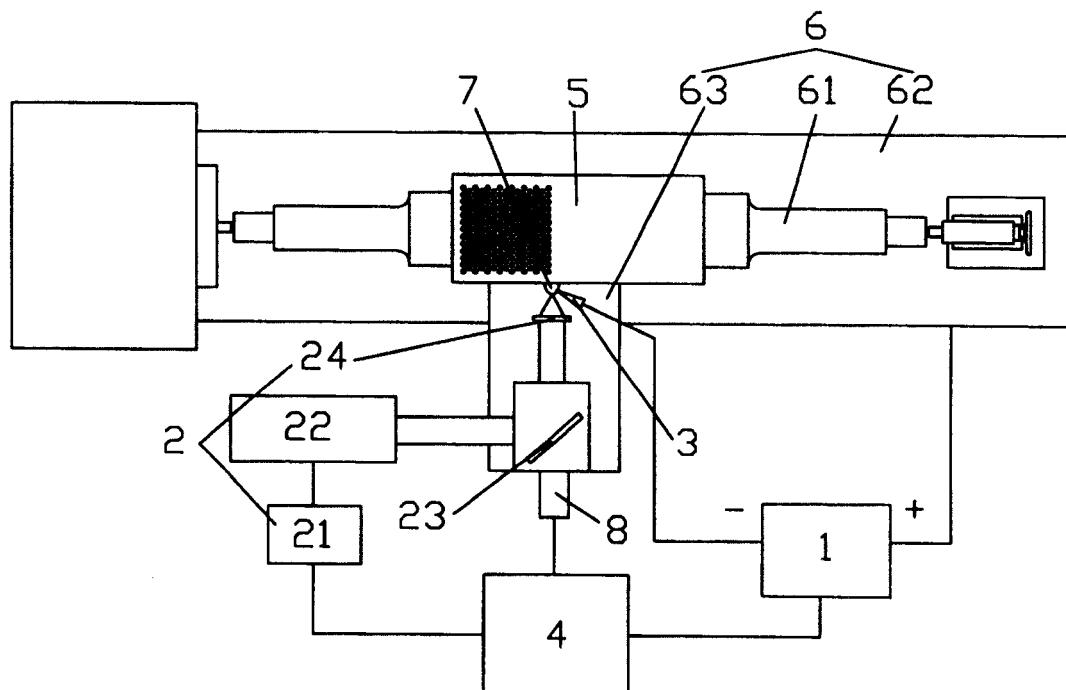


图1

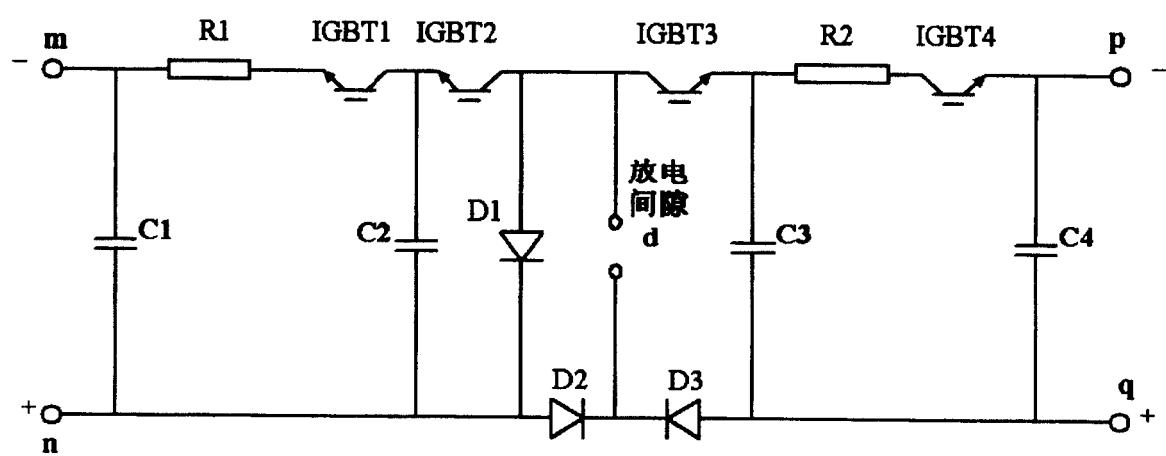


图2



图 3A

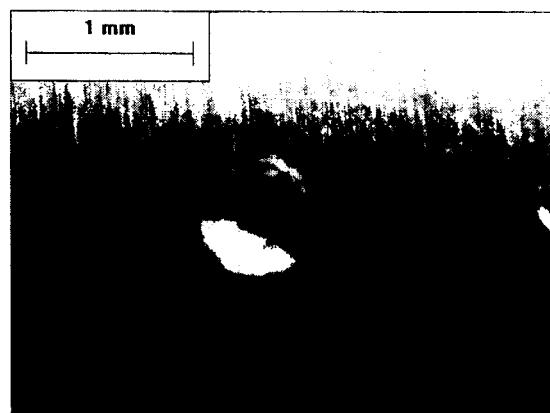


图 3B

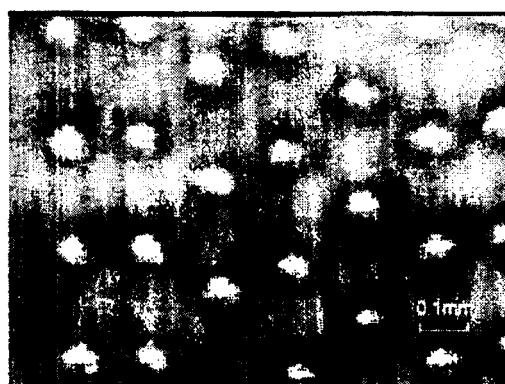


图 4A

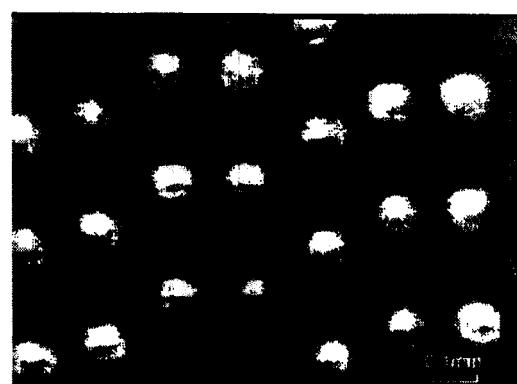


图 4B

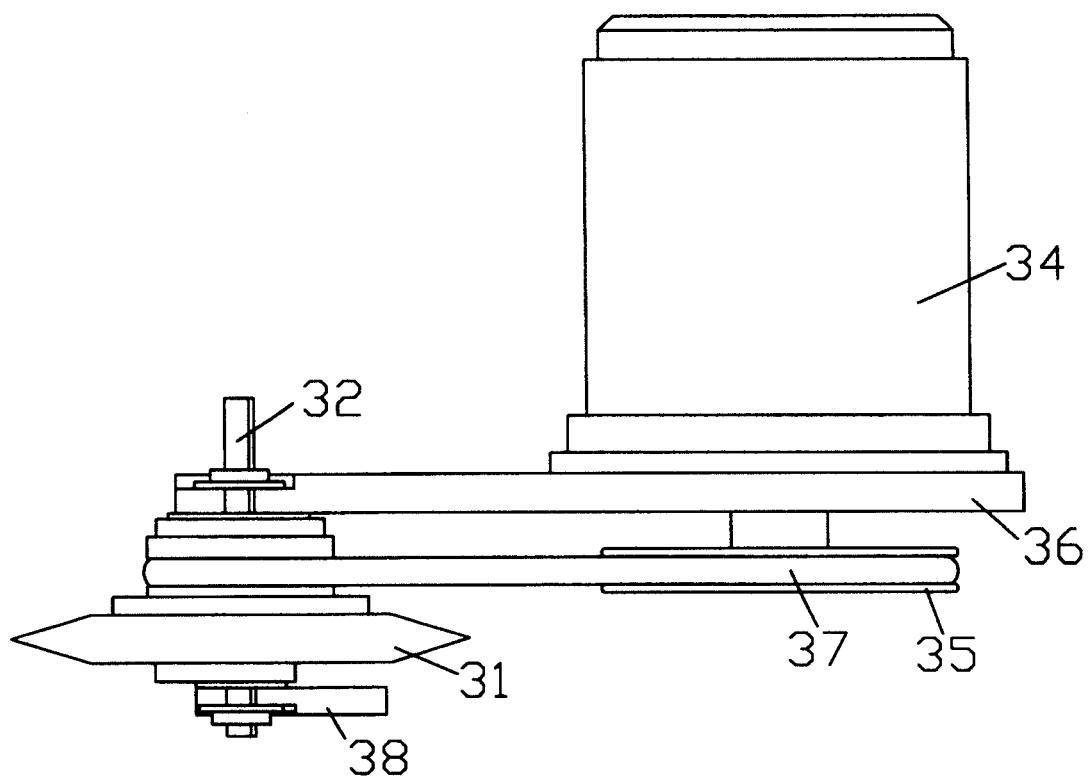


图5