



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1829586 B

(45) 授权公告日 2011.09.28

(21) 申请号 200480014994.7
 (22) 申请日 2004.05.28
 (30) 优先权数据
 60/474,836 2003.05.30 US
 60/475,210 2003.06.02 US
 (85) PCT申请进入国家阶段日
 2005.11.30
 (86) PCT申请的申请数据
 PCT/US2004/017079 2004.05.28
 (87) PCT申请的公布数据
 W02004/108356 EN 2004.12.16
 (73) 专利权人 雷姆技术公司
 地址 美国康涅狄格州
 专利权人 奥斯罗有限责任公司
 (72) 发明人 M·米绍 E·苏默斯
 (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
 72001
 代理人 崔幼平

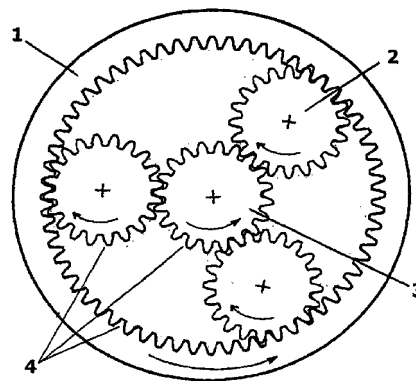
(51) Int. Cl.
B24B 31/00 (2006.01)
B23F 19/00 (2006.01)
F16H 55/06 (2006.01)
 (56) 对比文件
 CN 1043349 A, 1990.06.27,
 CN 1059158 A, 1992.03.04,
 US 4491500, 1985.01.01,
 CN 1329959 A, 2002.01.09,
 审查员 缙正

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 6 页

(54) 发明名称
 超精加工大型行星齿轮系统

(57) 摘要

一种用于风力涡轮发电机输入级的新型改进的大型行星齿轮系统。这种改进的行星齿轮系统减少或消除了通常从轮齿上产生的润滑碎屑,由此消除了引起轴承失效的根源。为了达到这些效果,采用化学加速振动抛光将行星齿轮系统的一些以及优选为全部轮齿超精加工到表面粗糙度大约为 0.25 微米或更小。本发明使得齿轮箱的金属碎屑减少、承压寿命提高、磨损减少、振动摩擦噪声降低、接触疲劳得到改善、接触强度提高、润滑得到改善、使磨合工序简化以及提高齿轮箱的耐用性和效率。



1. 一种用于大型风力涡轮发电机的输入级行星齿轮箱,其包括:

空心齿轮;

两个或者多个行星齿轮;以及

太阳齿轮;

其中,所述空心齿轮、所述两个或者多个行星齿轮以及所述太阳齿轮中的一个或者多个包括多个齿,其被超精加工到表面粗糙度(Ra)为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小。

2. 如权利要求1所述的输入级行星齿轮箱,其中,所述空心齿轮的多个齿被超精加工到表面粗糙度约为 $0.16\mu\text{m}$ 。

3. 如权利要求1-2任一所述的输入级行星齿轮箱,其中,所述输入级行星齿轮箱为取自具有500kW及更大输出功率容量的风力涡轮发电机的行星齿轮箱。

4. 如权利要求1-2任一所述的输入级行星齿轮箱,其中,在被超精加工到 $0.25\mu\text{m}$ 或更小的表面粗糙度以前,由从包括气体渗碳、气体渗氮和穿透淬火的组中选择一种方法对所述空心齿轮、两个或多个行星齿轮以及太阳齿轮中的一个或多个进行热处理。

5. 如权利要求1所述的输入级行星齿轮箱,其中所述空心齿轮、所述两个或者多个行星齿轮以及所述太阳齿轮中的每一个包括被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小的多个齿;或者其中所述两个或者多个行星齿轮以及所述太阳齿轮中的每一个包括被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小的多个齿;或者其中所述两个或者多个行星齿轮中的每一个包括被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小的多个齿;或者其中所述多个齿的驱动侧被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小,或者其中所述多个齿的不工作齿侧被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小。

6. 一种用于大型风力涡轮发电机的输入级行星齿轮,其具有大于200kg的质量,并且包括被超精加工到表面粗糙度(Ra)为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小的多个齿。

7. 如权利要求6所述的输入级行星齿轮,其中所述多个齿的驱动侧被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小,并且所述多个齿的不工作齿侧被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小。

8. 如权利要求6所述的输入级行星齿轮,其中所述多个齿的驱动侧被超精加工到表面粗糙度为 $0.25\mu\text{m}$ 或更小。

超精加工大型行星齿轮系统

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求 2003 年 5 月 30 日提交的美国临时专利申请 No. 60/474, 836 的优先权, 同时还要求 2003 年 6 月 2 日提交的美国临时专利申请 No. 60/475, 210 的优先权。

技术领域

[0003] 本发明涉及一种用于大型齿轮箱的新型改进的输入行星级。本发明中提及的输入行星级是用于具有 500kW 及更大输出额定功率容量的风力涡轮发电机。

背景技术

[0004] 风力涡轮发电机被认为是产生电能最节省成本并环保的方法之一。目前各种风力涡轮机被设计和构造成产生超过 5MW 的电能。大多数风力涡轮机的关键部件是其齿轮箱, 齿轮箱在低速时承受变化的高负载并具有 20 年的设计寿命。风力涡轮机的制造者和使用特别希望使这些齿轮箱更加耐用和高效。

[0005] 现代大型风力涡轮发电机 (500kW 及更大) 是通常采用大型行星齿轮系统作为输入级的重型设备。这些安装在高塔顶部的重型齿轮箱经常位于边远地区例如在山上或海上, 经历风力和温度的急剧波动, 并经常暴露于侵蚀性海水环境和 / 或磨蚀性颗粒中。齿轮箱发生故障时需要使用大型装备移走该齿轮箱、用制造厂的工具对其进行修复, 接着将其重新安装在边远地区。同时产生的发电损失也使齿轮箱本身的成本很高。

[0006] 制造者认识到在满载励磁操作前从轮齿的啮合表面上清除峰值粗糙点 (peak asperities) 可提高齿轮箱的使用寿命。清除峰值粗糙点有两个明显的好处。首先, 可以减少金属与金属的啮合量, 这种金属与金属的啮合会产生润滑碎屑并众所周知会对齿轮和承压面具有破坏作用。其次, 可以改善材料比率 (R_m), 所述材料比率是对可支承负载的轮齿表面面积的一种度量。本行业认定只要没有产生任何明显的冶金上的损伤或没有产生任何对导入面和轮廓的几何形状的明显改变, 任何清除峰值粗糙点的工艺技术都是等同的。例如在航天工业中经常采用齿轮珩磨减少峰值粗糙高度。一直考虑在风力涡轮机的齿轮箱上采用珩磨, 只是由于大多珩磨装备仅限于加工具有 12 英寸或更小直径的齿轮, 这就在成本上限制了珩磨在上述大型齿轮上的应用。因此, 现在的风力涡轮机的齿轮通常具有磨光的齿侧面, 并被建议通过磨合工序运行以从接触表面上清除峰值粗糙点。

[0007] 多年来一直认为, 当采用化学加速振动抛光使相互配合的啮合表面都各向同性地被超精加工到小于大约 0.075 微米的算术平均粗糙度 (R_a) 时可以获得对承压面的最佳性能效益。

[0008] 同样地, 在汽车赛车用传动装置内的齿轮在高负载下以较高的节线速度运行, 其得益于具有从 0.3 微米到小于 0.025 微米轮齿光洁度 R_a 的各向同性超精加工过程。这种超精加工后的齿轮承受很小的啮合疲劳、运行温度、摩擦、噪声以及振动。

[0009] 超精加工带动了流体动力润滑 (HL) 或弹性流体动力润滑 (EHL) 的发展。在运行过程中通过连续润滑油膜使相互配合的轮齿完全分离时存在 HL。在运行过程中当分离润滑

油膜的形成受啮合表面的弹性变形影响时,受到高负载的相互配合的轮齿上存在 EHL。因此,通过 HL 或 EHL 在高速或高负载运行过程中,超精加工的汽车赛车用传动装置几乎没有承受任何配合轮齿之间金属与金属的啮合。

[0010] 与汽车赛车用传动装置形成鲜明对比,在风力涡轮发电机行业中采用的输入行星级齿轮是在明显不同的工况下运行。在风力涡轮机的应用中,齿轮在低节线速度下承受非常高的变化负载,从而可以预测到产生临界润滑而不是流体动力润滑 (HL) 或弹性流体动力润滑 (EHL)。当运行过程中相互配合的轮齿被润滑液弄湿但润滑油膜的厚度小于结合在一起的配合表面的粗糙度时存在临界润滑。由此,润滑油膜可被峰值粗糙点穿透,并且金属与金属的接触从轮齿处产生金属碎屑。常规制造的精磨的风力涡轮机的轮齿(参见“风力涡轮机的齿轮箱设计和规格标准”(Standard for Design and Specification of Gear Boxes for Wind Turbines) ANSI/AGMA/AWEA6006-A03) 在下文描述的磨合工序后有望达到 $R_a = 0.5-0.7$ 微米的表面光洁度。然而,本领域的技术人员会认识到常规制造的空心轮具有更高的表面光洁度。AGMA 标准建议这种齿轮的光洁度不超过 $R_a > 1.6$ 微米。 $0.5-0.7$ 的光洁度被认为是足以避免大多金属与金属的侧面啮合。同时有理由相信这种表面条件将会引起缓慢移动轮齿所需的明显的润滑液的滞留,由此获得最合理的润滑状况。但风力涡轮机的齿轮箱的主要故障源是承压面损坏。尽管通过磨合达到了上述光洁度,但在行星齿轮级轮齿上仍然有金属与金属轮齿的啮合并产生润滑碎屑,这些润滑碎屑反过来又导致快速的承压面损坏。

[0011] 相反,化学加速振动超精加工达到的 $R_a < 0.3$ 微米状态被认为对大型风力涡轮发电机来说是太光滑了,因为齿侧面没有足够用于运行的润滑液滞留,可预测到会产生轮齿损坏。因此,问题是采用化学加速振动抛光对输入行星级的超精加工是否提高了齿轮箱的任何品质值。只有超长和高成本的现场试验才能提供这一结果。

[0012] 另外,本领域技术人员认为构成大型风力涡轮发电机的输入行星级的大型厚重齿轮不能通过在化学加速振动抛光加工中采用的振动抛光设备进行加工。该振动抛光设备是筒状或箱状。对于输出功率 500kW 或更大的发电机来说输入行星级齿轮通常为 200kg 或更大。这一齿轮重量被认为是超出了振动抛光设备的正常操作范围。

[0013] 特别是,重量从 400kg 到大于 5000kg 的大型空心齿轮(环形齿轮)被认为是不可能在大振动抛光滚筒中被超精加工的。本领域的技术人员已经预见到这种具有相当小的横截面积的大质量齿轮将会直接沉入滚筒的底部,使衬套、齿轮或二者都损坏。此外,一直认为是厚重的齿轮使用于振动抛光设备上的陶瓷介质破裂,因为较高压力作用在所述介质上。由陶瓷介质被压碎而产生的碎片具有锐利的尖和边缘。这些介质碎片被预测为没有使轮齿的临界啮合表面修整到超精加工的状态,而是损坏了这些表面,导致了这些表面的粗糙、擦伤甚至是撞瘪,尤其是在压力最大的滚筒底部附近。这种损坏一直对更软的穿透淬火(32-40HRC)的空心齿轮有明显的增大。由于破裂造成的可预见的介质的快速磨损也增加了难以承受的加工成本,同时引起了阻塞和妨碍加工机械排放的问题。

[0014] 另外,在加工空心齿轮时,一直认为在横跨轮齿的导入面的介质压力强度上存在差异。在更靠近滚筒的底部的轮齿上的介质压力大于顶部附近的介质压力。结果,更多的材料被认为是从轮齿底部附近移动到轮齿顶部附近。因此振动加工的空心齿轮最终是超出了尺寸公差。可以通过在加工中途移动齿轮、将其翻转、再放回到滚筒中并继续加工的方法

来部分地缓解上述问题。但应该指出翻转这种大型齿轮是耗费时间并有可能存在危险的。同时,轮齿的部分中心宽度在抛光时会被加工两次,这就有可能引起齿形的最终变化。上述预见的每个缺陷一直被认为是使这种对大型空心齿轮的超精加工在工业上无法实施并无法预料的原因。

[0015] 对构成风力涡轮机齿轮箱的输入行星级的其它齿轮的化学加速振动抛光也一直被认为存在同样的缺陷。这些公知为行星轮和太阳轮的齿轮同样是大质量的,通常每个重量超过 200kg。这样,本领域的技术人员已经预见到它们不能用振动抛光机进行加工,无论抛光机是筒状还是箱状。因此,风力涡轮机行业不能够认识到这种超精加工为齿轮箱的输入行星级带来的益处。

[0016] 应该指出的是,希望能够在大型输入行星齿轮级上采用穿透淬火的空心齿轮代替气体渗氮或气体渗碳的空心齿轮。穿透淬火的空心齿轮制造成本更低。

[0017] 气体渗氮是高成本且耗时的,并在轮齿表面产生非常坚硬、脆性的“白层”。本领域的技术人员认识到这种白层在使用齿轮之前必须被清除。但通过磨光清除白层费用很高,而且还有毁坏空心齿轮的危险。另一种通过化学溶解清除白层也是非常危险并不利于环保的工艺。

[0018] 在气体渗碳方面,由于热处理过程导致明显的变形,因此需要对轮齿进行最终精磨,这也是一个成本较高的工艺过程。而且,在最终精磨后,经过气体渗碳的空心齿轮需要进行回火过烧检查,这又是一个危险并不利于环保的工艺过程。

[0019] 另外,穿透淬火的空心齿轮不只是制造成本低,而且与渗氮或渗碳的空心齿轮相比它们在几何形状上更加精确。这是非常有利的,因为行星齿轮组的其余齿轮照例要被制造成具有高精确的几何形状。因此,如果更精确、成本更低的穿透淬火的空心齿轮与高精确的行星和太阳齿轮一起运行,则所获得的行星齿轮组是高效并足够耐用。如果采用化学加速振动抛光对穿透淬火的空心齿轮进行超精加工,则其轮齿具有足够的表面承载能力并能够在 HL 或 EHL 状态下运行,由此减少了碎屑的产生。这样,如果与超精加工的行星和太阳齿轮组合的超精加工的穿透淬火的空心齿轮能够在风力涡轮机的设计负荷和转速下合乎要求地运行,则结果将产生更高性能的输入行星齿轮级。备选地是,如果行星和太阳小齿轮能够被超精加工并与非超精加工的空心齿轮配合,而无论其金属热处理情况如何,结果都将产生一个用于具有 500kW 或更大输出功率的风力涡轮发电机的改进的行星齿轮级。因此,对输入行星级的一些优选是全部齿轮进行超精加工会使从轮齿上产生的润滑碎屑减少或消除,从而减少或消除了承压面的破坏源。

[0020] 实际上,大型风力涡轮发电机的齿轮箱的设计者在磨光之后仅有一个可行的用于减少峰值粗糙点的选择,那就是磨合过程。在磨合过程中,通过在不同负载和转速下运行齿轮箱而使齿轮在装配状态下变得平滑,从而啮合区域的峰值粗糙点被切下或本身发生塑性变形。应该提及的是,这也是能够采用的最经济的工序,因为在装运并安装在最终目的地之前无论如何要在负荷工况下对齿轮箱进行测试和认证。磨合和测试阶段可以同时在同一试验台上进行。例如 AGMA/AWEA 以及 Danish Energy Agency 已经写出了设计风力涡轮机齿轮箱的准则并强调需要磨合。主要论述了表面抛光对轮齿耐用性的影响,但没有给出任何修平表面的方法。这种清除峰值粗糙点的方法为无关紧要的观点是本行业以及其他齿轮制造者所共有的。

[0021] 理想的磨合过程需要在不同负荷和转速下运行齿轮箱以模拟实际的现场条件,从而横跨整个承载表面对峰值粗糙点进行修平。但在试验台上重复实际的运行条件不仅在实践上不可能,而且由于装备、时间以及成本的限制同样也是不切实际的。在磨合工序过程中,经常有意地减小油膜厚度以使峰值粗糙点相互啮合,由此产生更光滑的表面。一旦磨合过程完成,齿轮箱磨合润滑液和过滤系统就应该进行维修。通常排出润滑液,冲洗齿轮箱并换上新润滑液,同时收集磨合过程中产生的金属碎屑的过滤器被清洗或更换。不利的是,即使是在被收集到过滤器内之前的磨合过程中,金属碎屑也可能引起对轴承(或承压面)和齿轮啮合表面的严重破坏。而且,大多过滤器仅能收集更大的碎屑颗粒而允许更细的颗粒通过。这些细小的颗粒仍然能够引起表面损坏,特别是对齿轮箱轴承。

[0022] 而且,无论磨合工序完成的多么彻底或细致,由于使峰值粗糙点机械剪切、破裂或弹性变形而形成了较高的应力,因此该工序过程在轮齿啮合表面区域留下了微观材料疲劳(应力集中区)。这些应力集中区成为将来发生啮合疲劳失效或微坑的起源点。

[0023] 所以,即使是在磨合以后,输入行星齿轮也经常在现场运行的早期出现微坑。微坑本身是另一种金属碎屑的来源,其能够促使对轴承和齿轮啮合表面的进一步损坏,因为金属碎屑不能直接或完全通过过滤装置收集。应该强调的是,即使是能够穿过 10 微米的过滤器的微观金属碎屑颗粒也还是足够大的能引起损坏。微坑被公认为是将来可能发生齿轮失效和/或严重的磨损问题的标志。只要有严重的磨损产生,轮齿轮廓就会改变,导致振动和噪声提高,从而在齿轮箱系统上施加了升高的应力。

[0024] 另外,磨合工序通常仅使空心齿轮和太阳齿轮的驱动侧平滑,而留下这些轮齿的不工作齿侧进行机械加工。在反向运行条件例如强风暴或涡轮机制动时,不工作齿侧负载足够高以至使粗糙点相互啮合,并产生了有害的金属碎屑。化学加速振动超精加工的齿轮在啮合轮齿表面两侧都被修平了。

[0025] 还有,需要强调的是,本行业还没有对关于实际最佳的表面抛光或形成该最佳表面以改善齿轮箱的耐用性的方法给出指导。相反主要是依靠磨合工序对轮齿啮合区域进行修平以达到据认为是合乎要求的状态。

发明内容

[0026] 在此公开的是一种改进的用于风力涡轮发电机输入级的大型行星齿轮系统。这种改进的行星齿轮系统减少或消除了通常从轮齿上产生的润滑碎屑,由此消除了引起轴承失效的根源。为了达到这些效果,采用化学加速振动抛光将行星齿轮系统内的一些以及优选为全部轮齿超精加工到表面粗糙度大约为 0.25 微米或更小。

[0027] 特别是公开了一种对水平放置在振动滚筒内的大质量空心齿轮、尤其是穿透淬火后的空心齿轮进行超精加工的新方法。

[0028] 能够认识到,在此公开的本发明的教导对大型行星齿轮组的其它应用也是有用的。同样,本发明的教导也可应用在由于常规研磨轮齿抛光而存在临界润滑状态的其它大型非行星齿轮类型的齿轮箱内的一些或全部齿轮上。在这些齿轮箱内,齿轮的型式例如正齿轮、螺旋齿轮、平面齿轮、锥齿轮等等对在此公开的本发明的思想并不重要。

[0029] 本领域的技术人员很容易理解的是可以对明显的性质做出各种变化和改变,这些变化和改变被认为是处于权利要求的范围内。通过研究说明书和在此公开的对本发明的实

践,本发明的其它实施例对本领域的技术人员也是显而易见的。示例是对这些类型的大型齿轮箱内的所有齿轮和 / 或所有承压面进行超精加工。因此,所描述的具体实施例不是要限制本发明而仅仅是为示意本发明的方法。

[0030] 在本发明中所采用的工艺过程的唯一及重要的特征是由于获得表面光洁度的表面平整机制。与陶瓷介质结合在振动滚筒或桶内采用化学溶液。当被投入机器时,这种化学溶液与金属起反应并在轮齿的粗糙点(高峰和低谷)上产生稳定、较软的转换涂层。由机器和介质在轮齿的侧面形成的摩擦运动有效地将表面“尖峰”上的转换涂层磨掉,而使“低谷”的转换涂层保留下来。在这一阶段转换涂层连续地被重新形成和磨掉,以构成表面平整机制。该机制在振动抛光机内持续运行直至获得所需的表面光洁度。这时,活性化学物质的处理停止并通常被用不与基底金属起反应的抛光溶液从机器内清洗掉。在这一阶段转换涂层被从轮齿侧面磨掉,最终获得用于输入行星齿轮级的抛光齿轮。最后,由于所述工艺过程是以水为基础,在大致室温下并暴露在大气中,因此采用化学加速振动抛光没有任何使齿轮回火的可能。这样,在采用本发明进行超精加工以后不需要进行回火过烧检测。

[0031] 由于在安装前清除了峰值粗糙点,因此没有引入任何像在常规磨合平滑工艺过程那样的微应力。实际上,对磨合的需要极大地减少或完全消除了。因此减少或消除了齿轮表面的微坑和磨蚀问题。同时,采用本发明抛光的齿轮在开始或投入使用长时间以后没有产生任何明显的金属碎屑,由此避免了金属碎屑损坏轴承(或承压面)。这也使润滑维护之间的周期更长。由于表面的平滑也减少摩擦,因此齿轮不会促进造成润滑剂、轴承和密封件寿命降低的典型磨合温度尖峰的产生。噪声和振动由于两个原因也被认为是减小了。首先,摩擦的减少对减小振动和噪声起作用。其次,磨损的减少意味着传动误差会随着时间保持更加恒定,因此噪声也不会提高。

[0032] 在本发明之前,试图提高风力涡轮发电机齿轮箱的耐用性是通过轮齿进行表面抛光接着磨合来实现,这时齿轮箱是在变化的负载和转速下运行。磨合可以从一些轮齿配合表面上清除峰值粗糙点,但也有许多上述相对于本发明的严重缺陷。因此,应用于具有500kW及更大独立输出功率的风力涡轮发电机的本发明相对于轮齿抛光和磨合工艺过程的几个目的和优点是:

[0033] 1. 提供一种整个轮齿侧面都被超精加工的改进的输入行星级,这种超精加工可减少或消除在磨合或实际使用过程中由齿轮产生的破坏性的金属碎屑;

[0034] 2. 提供一种通常由轮齿产生的金属碎屑明显减少或消除的改进的行星级,由此减少或消除了引起轴承失效的根源;

[0035] 3. 提供一种对大型空心齿轮尤其是具有较高几何精确度并穿透淬火的空心齿轮进行超精加工的实用并节省成本的方法,该方法采用化学加速振动抛光得到具有较低 R_a 值、较高 R_{ms} 值和应力集中区明显减少的优质表面;

[0036] 4. 提供一种改进的输入行星级,因为现在任何型式200kg和更大齿轮的一些并且优选为全部齿轮侧面在保持尺寸公差的同时都可以被超精加工到 R_a 值为0.25微米或更小;

[0037] 5. 提供一种微坑和磨蚀明显减少的改进的行星级,这些微坑和磨蚀会产生将来的大坑、磨损并最终导致轮齿和轴承的失效;

[0038] 6. 提供一种对所有齿轮尤其是空心齿轮和太阳齿轮的轮齿的驱动侧和不工作侧

同时进行超精加工的方法,这就减少或消除了有可能产生的有害金属碎屑;

[0039] 7. 提供一种温度尖峰明显减少的改进的输入行星级,这种温度尖峰在磨合或早期现场运行过程中对冶金、润滑剂以及密封件有很大损害;

[0040] 8. 提供一种振动和 / 或噪声明显减少的改进的输入行星级,这种振动和 / 或噪声是通过摩擦和 / 或由于磨损轮齿轮廓变形引起的;

[0041] 9. 提供一种在齿轮啮合齿面上具有材料比率 (R_{mr}) 提高的改进的输入行星级,从而可以产生更大的动力密度;

[0042] 10. 提供一种改进的输入行星级,革新或取消磨合工序;

[0043] 11. 提供一种对齿轮超精加工后不需要回火过烧检测的工艺;

[0044] 12. 提供一种应用于在临界润滑状态下运行的所有类型齿轮箱内所有 200kg 和更大型式的齿轮的化学加速振动抛光工艺,从而使超精加工减少或消除了润滑碎屑;以及

[0045] 13. 提供一种改进的大型齿轮箱,其中一些、或者优选为所有齿轮和 / 承压面被超精加工以减少或消除润滑碎屑。

[0046] 本发明另外的目的和优点将会从随后的描述和附图中更清楚地了解到。

附图说明

[0047] 图 1 是具有三个行星齿轮的行星齿轮箱的横截面视图;

[0048] 图 2a 是表示出齿啮合区域的轮齿示意图;

[0049] 图 2b 是两个轮齿的横截面视图;

[0050] 图 3 是包含用于对空心齿轮进行超精加工的介质的振动滚筒的视图;

[0051] 图 4 是表示在超精加工过程中对空心齿轮处于理想位置的振动滚筒的视图;

[0052] 图 5 表示在超精加工过程中化学溶液投放位置的视图;

[0053] 图 6 是在对空心齿轮轮齿的齿侧面进行典型机械加工 / 研磨而检测到的表面参数和轮廓;以及

[0054] 图 7 是采用本发明的方法对空心齿轮轮齿的齿侧面进行典型超精加工而检测到的表面参数和轮廓。

[0055] 本发明的详细描述

[0056] 图 1 是通常用于风力涡轮机齿轮箱的输入行星级齿轮的视图。它由空心齿轮 1、两个或多个行星齿轮 2 以及太阳齿轮 3 组成。每个齿轮的齿 4 将被超精加工。图 2a 是单个轮齿 4 的三维视图,而图 2b 是两个轮齿 4 的二维横截面视图。轮齿 4 由齿侧面 5、齿顶部 6、齿根部 7 以及齿根圆角 8 组成,其中,齿侧面 5 是轮齿的工作或啮合侧面,齿顶部 6 是轮齿的上表面,齿根部 7 是相邻齿之间的空间底部处的表面,且齿根圆角 8 是在齿侧面 5 和齿根部 7 之间轮齿的基底上的圆形部分。最关键的区域是齿接触印痕 9,其是在齿轮运行时轮齿与其配合副已经处于啮合的表面区域。在本发明中,在振动滚筒或箱内采用化学加速抛光将包括太阳齿轮 3、行星齿轮 2 以及空心齿轮 1 的风力涡轮机齿轮箱的一个或多个行星齿轮的驱动和不工作侧超精加工到 R_a 为 0.25 微米或更小。

[0057] 超精加工过程的总体描述

[0058] 超精加工过程的总体描述是按照共同拥有的美国专利 Nos. 4, 491, 500 和 4, 818, 333 以及美国专利申请 Nos. 10/071, 533、09/758, 067 以及 10/684, 073 的记载,它们

每个都结合在此作为参考。在振动抛光机内引入活性化学物质,能够将齿轮的金属转化为具有减小硬度薄膜的合成物,所述薄膜的物理和化学性质稳定,而且可以或不能在视觉上观察到。这种薄膜被称为转化涂层。当这种薄膜在齿轮的表面上形成时,介质成分在齿轮上的作用力仅会从齿轮的峰值粗糙点除去薄膜,而留下涂层完整的低凹区。通过用活性化学物质连续润湿金属表面,将会连续地重新形成稳定的涂层,对那些刚刚暴露出裸露底层金属的区域,以提供相对较软的薄膜层。如果这部分仍然比相邻区域更高,则会继续将其磨掉直至已经有效消除任何粗糙峰值。

[0059] 所采用的活性化学溶液的量只需要保持所有待加工部分的表面处于润湿状态,以确保连续、有效、即时地重新形成通过摩擦作用去除的任何涂层。对本领域的技术人员显而易见的是,所采用的任何介质的量取决于多个因素例如表面特性、面积、被处理的齿轮的重量和成分、所采用的用于转化涂层的溶液的组分、操作温度、精磨要达到的程度和等级,等等。

[0060] 尽管通过齿轮上产生的涂层转化后表现出来的性能对本发明过程的实践成功至关重要,但所采用的产生涂层的活性化学物质的组成却不是这样。这种组合物必须能够在运行条件下快速有效地产生基体金属的相对较软的反应产物,而且所述涂层基本上不溶于液体介质以保证主要通过摩擦而不是溶解完成清除工作。活性化学物质通常由水和大于约 40 重量百分比的活性成分组成,所述活性成分基本上包括转换化合物,而且优选并按要求还包括氧化剂,有时还包括稳定剂和 / 或润湿剂。在已经达到所需的精磨数量后,活性化学物质的处理停止。此后,将抛光溶液引入振动抛光机。抛光溶液不与基体金属反应,起到从表面上清除转换涂层以形成镜面外表的作用。

[0061] 超精加工行星和太阳齿轮

[0062] 在本发明的一个实施例中,可在具有适当尺寸的振动滚筒或桶的机器内对太阳齿轮和行星齿轮进行超精加工。多个具有适当固定的齿轮可以被同时超精加工。可采用一装置支承齿轮(多个齿轮)或防止齿轮(多个齿轮)在运行时与振动滚筒或桶的侧壁接触。齿轮(多个齿轮)被快速搅动以在齿轮(多个齿轮)和非磨料陶瓷介质之间产生相对运动。用 30v/v% 的 FERROMIL[®] FML-590 水成溶液将齿轮(多个齿轮)的表面和介质保持在润湿状态。非磨料固态介质成分的数量、尺寸和形状被设置成在搅动状态下可对轮齿产生均匀的介质摩擦。持续这一过程直至算术平均粗糙度(R_a) 值为 0.25 微米或更小。而后用 1.5v/v% 的 FERROMIL[®] FBC-295 水成溶液对齿轮(多个齿轮)进行抛光以清除转换涂层并形成镜面外表。

[0063] 尽管优选实施例考虑采用非磨料陶瓷介质,但也可以采用其它陶瓷介质、塑料介质、钢介质、不锈钢介质以及不同类型介质的组合,这取决于齿轮抛光周围的具体环境情况。在每种情况下采用哪种介质或介质的组合是本领域技术人员所掌握的技术常识。

[0064] 超精加工空心齿轮

[0065] 这个示例给出了对适用于具有 500kW 或更大输出功率的工业用风力涡轮机齿轮箱的大型空心齿轮 1 进行超精加工的一个实施例。空心齿轮 1 具有下面大致的重量和尺寸。其重 1620kg,具有 171cm 的外径、146cm 的内径、以及 38.5cm 的齿宽。可通过气体渗碳、气体渗氮或通过淬火对空心齿轮进行热处理。在图 3 中,对振动滚筒 10 容积的大约三分之二

充入磨料和非磨料陶瓷介质 11 的混合物。介质的尺寸和形状被选定为使得介质的均匀混合具有对轮齿侧面的均衡接触。介质的数量也被选择为在加工过程中提供最佳的提升作用量值,使得齿轮不与振动滚筒的管筒(或通道)的底部或侧面接触,或使齿轮的顶部不突出工作介质层上方。马达配重被设置成具有大约 85 度的螺旋升角。

[0066] 空心齿轮 1 水平放置在振动滚筒 10 的中心轮毂 12 上,该中心轮毂 12 在固定介质块 11 上适当地相对滚筒的中心与空心齿轮进行对中。如图 5 所示,流速为 20 升/小时(L/hr)的 1.5v/v%的 FERROMIL[®] FBC-295 水或溶液被投入滚筒的外壁和齿轮 13 的外表面之间的区域以减少摩擦生热的作用。包括 30v/v%的 FERROMIL[®] FML-590 的活性化学物质的水成溶液以 18 升/小时(L/hr)的流速被投入到中心轮毂 12 和内轮齿 14 之间的区域。

[0067] 振动滚筒 10 以低频启动并逐渐升高到大约 46-48 赫兹,由此空心齿轮在介质 11 中稳定下来。图 4 所示的理想位置是齿轮 1 的最上面处于或刚刚位于介质 11 和空气界面的下方。如果振动滚筒的振幅不在 1.5-2.0mm 之间,就应该调节下配重以达到所述振幅。这一测量结果可从安装在滚筒 10 的外侧上的振幅计上读出。在其余加工过程中,空心齿轮 1 保持对中并绕振动滚筒的中心轮毂 12 缓慢旋转。

[0068] 以下参数可以根据需要进行调整以使齿轮 1 处于或刚刚位于介质 11 上表面的下方,从而使齿轮 1 绕振动滚筒 10 的中心滚筒 12 均匀地旋转。

[0069] 介质尺寸、形状、成分以及每种成分的百分比;

[0070] 介质层面;

[0071] 马达的频率;

[0072] 由可调配重系统产生的振幅和螺旋升角;

[0073] 活性化学物质和抛光溶液的浓度和流速。

[0074] 这些参数的调整属于本领域普通技术人员的公知常识。

[0075] 继续加工过程直至算术平均粗糙度 (R_a) 的值达到 0.25 微米或更小。活性化学物质的流动被停止,包括 1.5v/v%的 FERROMIL[®] FBC-295 水或溶液的抛光混合物以 150 升/小时(L/hr)的流速被投入到滚筒的中心圆柱和齿轮 15 的轮齿之间的区域。继续加工过程直至转换涂层被清除,形成清洁光亮的外表。

[0076] 获得的预料不到的结果是:

[0077] 1. 齿轮在滚筒内保持对中,由于介质的运动而悬浮脱离滚筒的底部,齿轮的最上面保持处于或刚刚位于介质/空气界面的下方。

[0078] 2. 对齿轮超精加工时没有产生任何由介质或介质碎片造成的破坏。

[0079] 3. 达到 0.25 微米或更小的 R_a 值,材料比率显著提高。

[0080] a. 图 6 表示在超精加工前轮齿接触区域典型的表面粗糙轮廓。 R_a 为 0.78 微米, R_{mr} 为 49.4%。

[0081] b. 图 7 表示超精加工后轮齿接触区域的表面粗糙轮廓。 R_a 为 0.16 微米, R_{mr} 为 73.2%。

[0082] 4. 导入面和轮廓上的表面光洁度均匀,在误差范围内。

[0083] 5. 即使有的话也仅有微不足道数量的介质在加工过程中被破碎(也就是说介质的磨损率相当低)。

[0084] 行星齿轮的现场测试

[0085] 采用在本发明中描述的加工过程将来自两个具有大于 500kW 输出功率的风力涡轮发电机齿轮箱的输入行星级的所有齿轮都超精加工到表面粗糙度为 0.25 微米或更小。在超精加工之前对空心齿轮穿透淬火,而对行星和太阳齿轮气体渗碳。投入使用后,在大约 6 个月和大约 1 年的运行后对齿轮箱进行检测。在轮齿表面上没有观察到任何微坑或磨蚀。同样没有发现任何轴承的损坏。与之相比,仅通过一般的磨合技术修平的磨光齿轮仅在 6 个月的运行后就开始显示出微坑或磨蚀的迹象,通过直接检测或通过噪声 / 振动监测看到轴承开始显示出损坏。本发明另外的可预见的优点包括减少了金属碎屑、提高了轴承的寿命、减少了磨损、减少了振动和噪声、提高了接触疲劳强度、改善了润滑、提高了润滑维护之间的周期、简化或消除了磨合工序、以及增加了耐用性、效率并减少了行星齿轮箱的制造和运行成本。

[0086] 尽管已经通过优选实施例描述了本发明的装置和方法,但本领域的技术人员显然知道在不脱离本发明的思想和范围的情况下可对在此描述的内容做出改变。所有这种类似的对本领域技术人员显而易见的替换和修改都被认为是处于本发明的范围和思想内,尤其是这种供应应用于抛光任何类型的齿轮、大型行星齿轮系统而不只是包含在风力涡轮机领域内的那些任何类型的齿轮、以及具有每个齿轮在边界润滑区域内运行而且超过 200kg 的大型齿轮箱中的任何类型的齿轮。这项技术在其它行业内有效的实例包括在船舶动力装置和土方运输行业、采矿业以及其它任何采用大型齿轮系统的行业。

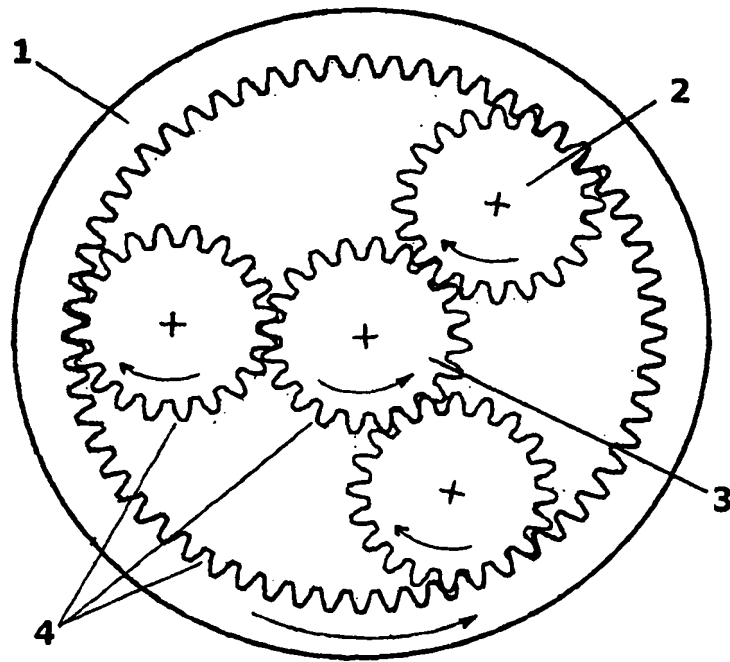


图 1

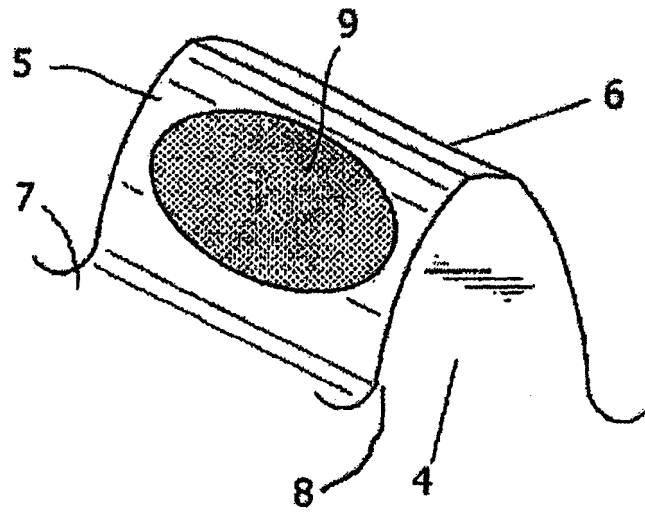


图 2a

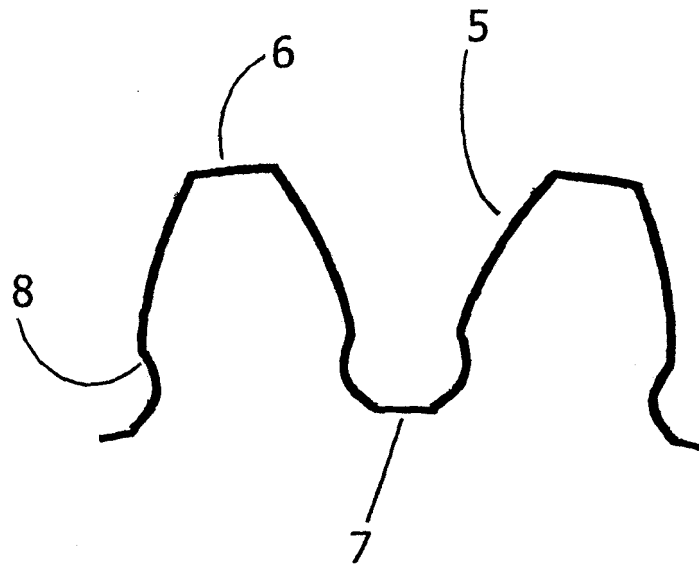
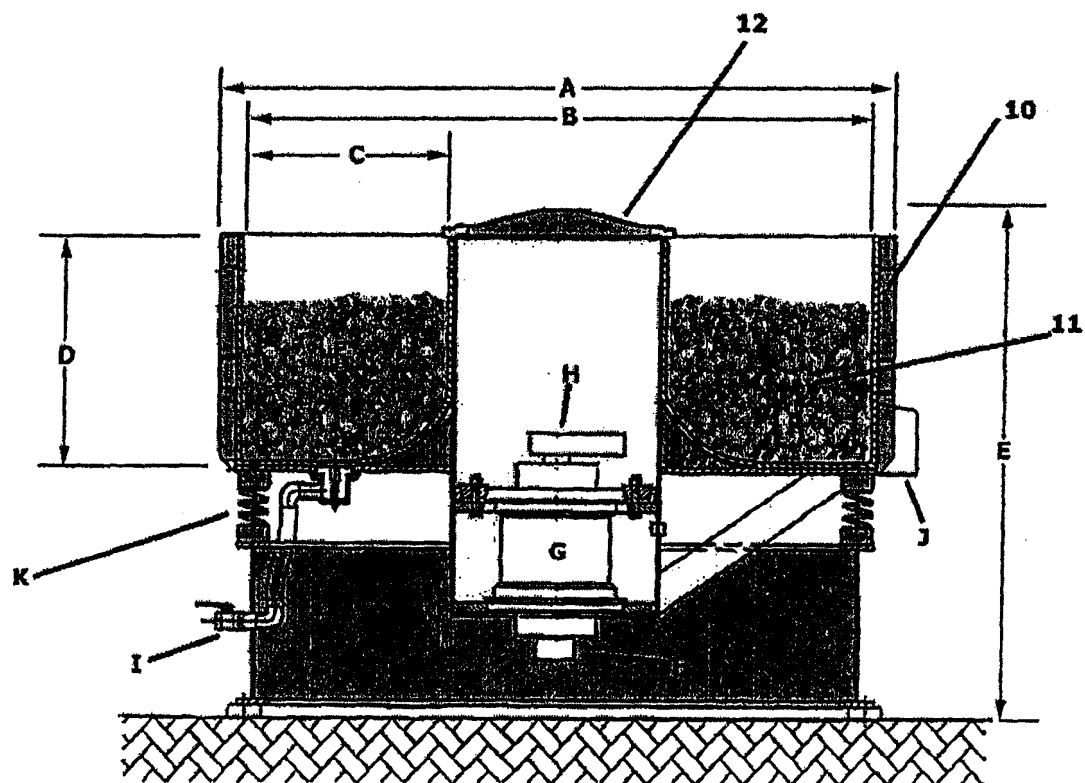
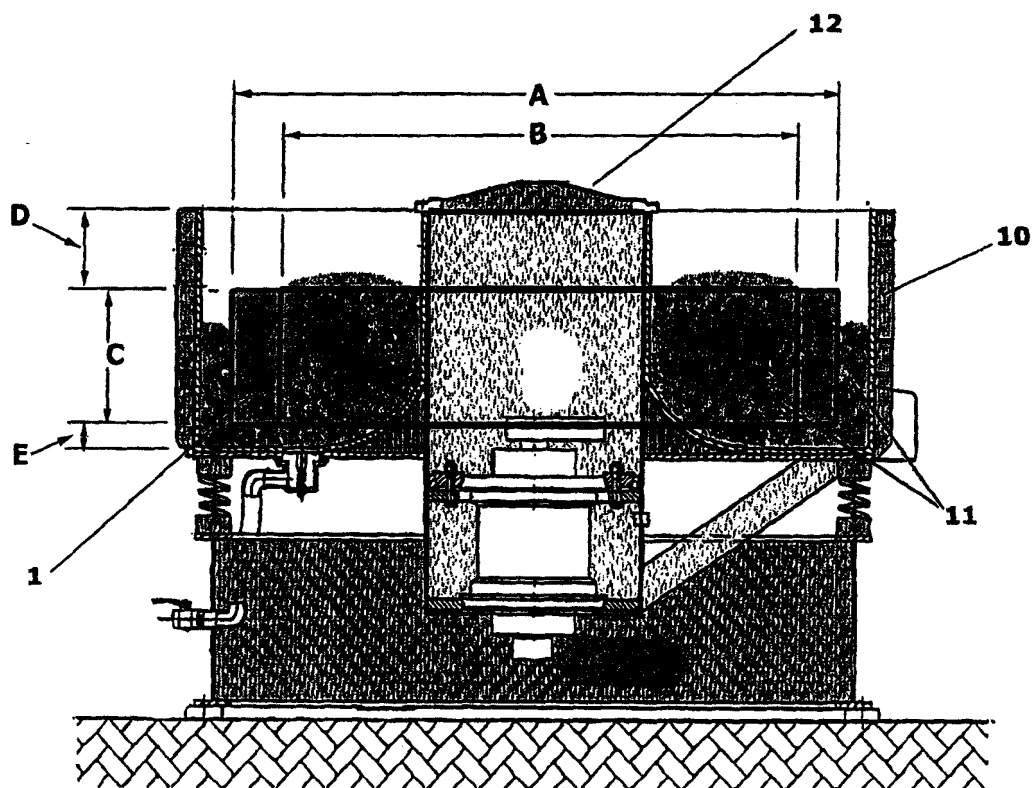


图 2b



		尺寸 (cm)
A	振动滚筒的外径	201
B	振动滚筒的内径	188
C	管筒宽度	62
D	管筒深度	65
E	振动滚筒的总长度	148
F	加工管筒	
G	7.5 kW 马达	
H	可调配重臂	
I	排液口	
J	介质出料口	
K	弹簧	

图 3



		尺寸 (cm)
A	空心齿轮的外径	169
B	空心齿轮的内径	146
C	齿宽	39
D	从齿轮的顶部到管筒的顶部的距离	21
E	从齿轮的底部到管筒的底部的大致距离	5

图 4

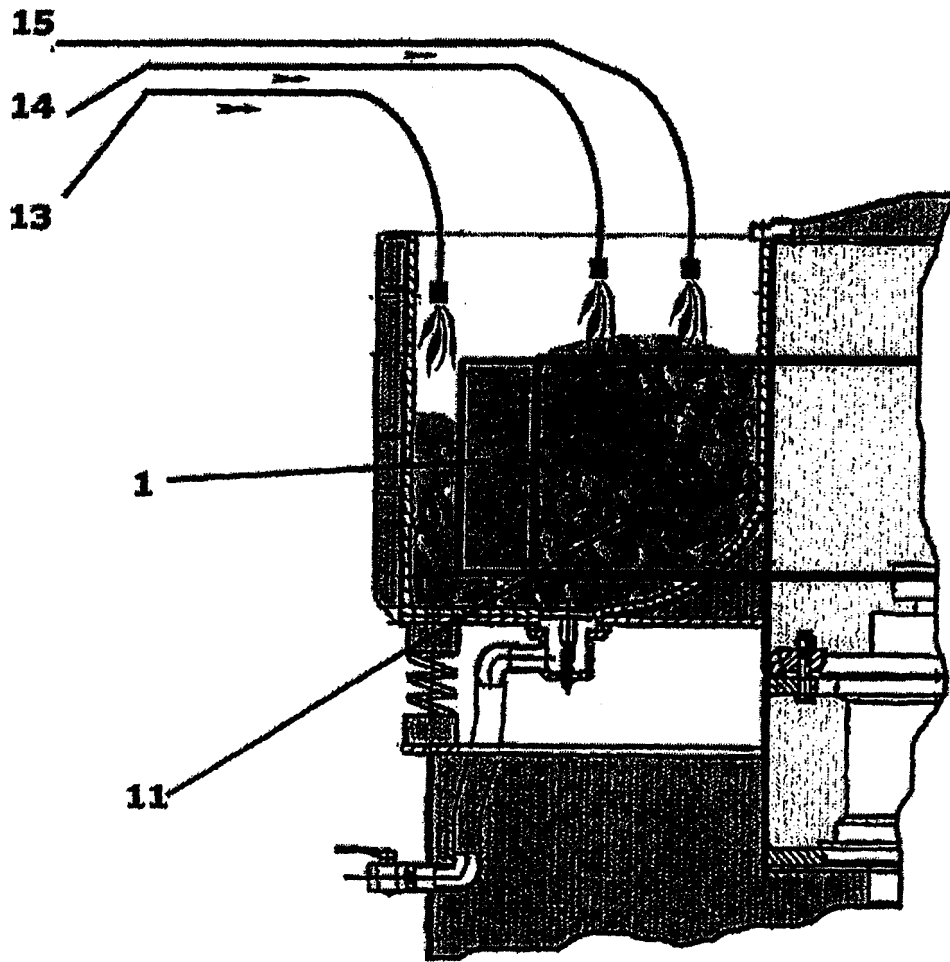


图 5

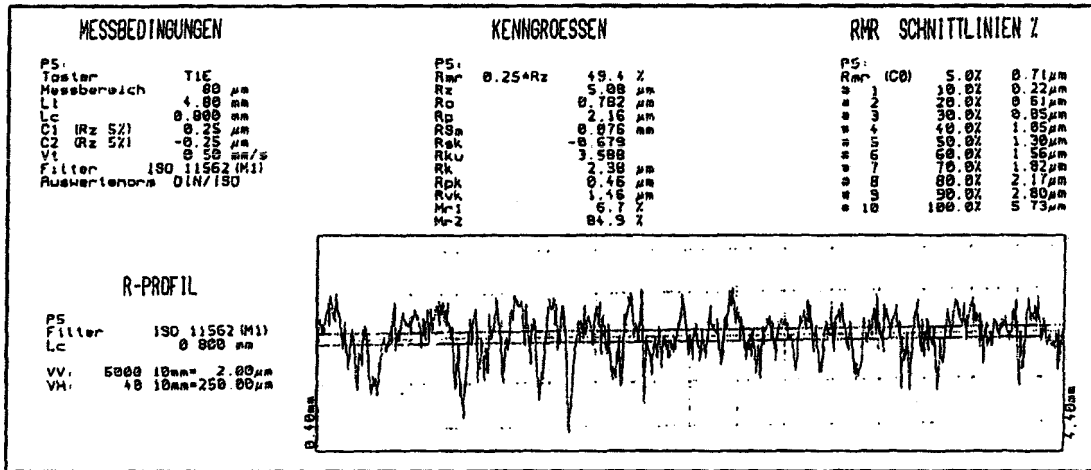


图 6

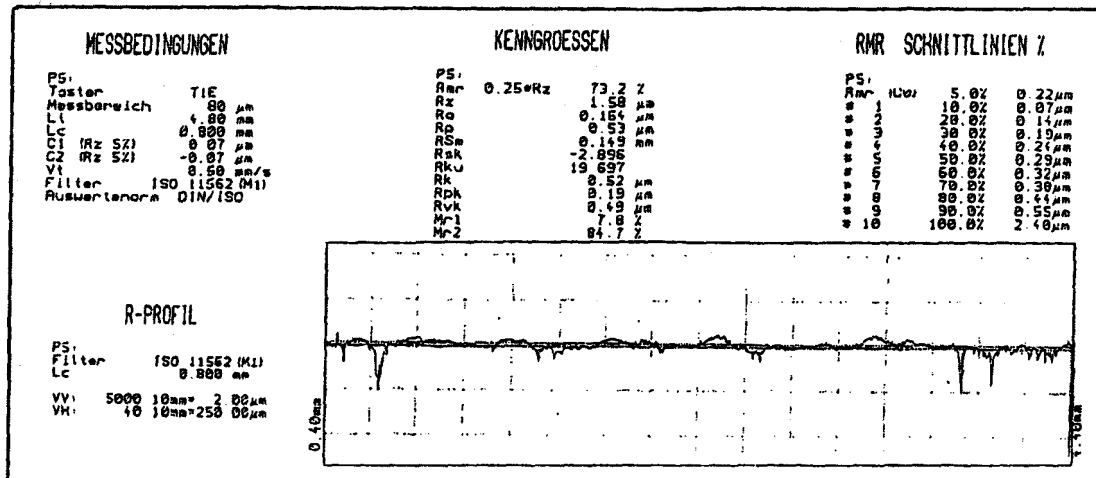


图 7