

(11) Número de Publicação: **PT 1646477 E**

(51) Classificação Internacional:
B24B 31/00 (2007.10) **B23F 19/00** (2007.10)
F16H 55/06 (2007.10)

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: 2004.05.28	(73) Titular(es): REM TECHNOLOGIES, INC. 325 WEST QUEEN STREET SOUTHTON, CONNECTICUT 06489 US
(30) Prioridade(s): 2003.05.30 US 474836 P 2003.06.02 US 475210 P	
(43) Data de publicação do pedido: 2006.04.19	(72) Inventor(es): MARK MICHAUD US EDD SUMMERS DE
(45) Data e BPI da concessão: 2009.04.29 143/2009	(74) Mandatário: ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES, Nº 74, 4º AND 1249-235 LISBOA PT

(54) Epígrafe: **SUPERACABAMENTO DE SISTEMAS DE ENGRENAGENS PLANETÁRIAS DE GRANDES DIMENSÕES**

(57) Resumo:

DESCRIÇÃO

"Superacabamento de sistemas de engrenagens planetárias de grandes dimensões"

ANTECEDENTES DO INVENTO

Este invento refere-se a um novo andar planetário de entrada aperfeiçoado para uma caixa de engrenagens de grandes dimensões. O andar planetário de entrada citado neste invento é para um gerador de energia de turbina eólica que tem uma capacidade de energia de saída nominal de 500 kW e maior.

Os geradores de energia de turbina eólica são considerados um dos métodos mais eficazes sob o ponto de vista do custo e mais amigos do ambiente na geração de electricidade. As turbinas eólicas individuais estão a ser presentemente concebidas e construídas para a geração de energia eléctrica acima dos 5 MW. Uma componente chave da maior parte das turbinas eólicas é as suas caixas de engrenagens, as quais são sujeitas a cargas altas variáveis a baixas velocidades, e têm tempos de vida de projecto de 20 anos. Qualquer coisa que dê a estas caixas de engrenagens mais durabilidade e eficiência é altamente desejado pelos operadores e fabricantes de turbinas eólicas.

Os geradores de turbina eólica de grandes dimensões modernos (500 kW e maiores) são dispositivos maciços que utilizam comumente grandes sistemas de engrenagens planetárias como o andar de entrada. Estas caixas de engrenagens pesadas, as quais se encontram montadas no topo de torres altas, muitas vezes localizadas em locais afastados tais como numa montanha ou longe da costa, experimentam flutuações pesadas nas condições do vento e temperatura e estão frequentemente expostas a um ambiente corrosivo da água do mar e/ou a partículas abrasivas. Uma falha da caixa de engrenagens pode dar origem à necessidade de remover a caixa de engrenagens através da utilização de equipamento gigante, e voltar depois a montá-la nas instalações do fabricante e a seguir instalá-la de novo no local distante. A perda

concorrente de geração eléctrica também é um acontecimento dispendioso em si mesmo.

Os fabricantes reconhecem que remover as asperezas de pico das superfícies de contacto dos dentes de engrenagem antes de realizar a operação aumenta o tempo de vida da caixa de engrenagens. Existem duas vantagens óbvias para remover as asperezas de pico. Em primeiro lugar, isto irá reduzir a quantidade de contacto de metal com metal o qual produz detritos de lubrificante e o qual se sabe ser destrutivo para as engrenagens e para as chumaceiras. Em segundo lugar, melhora a relação do material (R_{mr}), o que é uma medição da quantidade de superfície de dente de engrenagem disponível para suportar a carga. A indústria assumiu que qualquer técnica para remover as asperezas de pico seria equivalente desde que não ocorresse nenhum dano metalúrgico óbvio ou nenhuma alteração significativa para a geometria do avanço e do perfil. O polimento da engrenagem, por exemplo, é muitas vezes utilizado na indústria aeroespacial para reduzir os altos de aspereza de pico. O polimento pode ter sido uma consideração para as caixas de engrenagens de turbinas eólicas; excepto que é proibitivo sob o ponto de vista dos custos em tais engrenagens de grandes dimensões dado que a maior parte do equipamento de polimento está limitado ao processamento de engrenagens que têm um diâmetro de 12 polegadas ou menos. Como tal, as engrenagens de turbina eólica dos dias de hoje têm tipicamente flancos de dentes rectificadas e são recomendadas para serem operadas através de um procedimento de rodagem para remover as asperezas de pico das superfícies de contacto.

Tem vindo a ser ensinado há um certo número de anos que os benefícios óptimos de desempenho para as chumaceiras são alcançados quando as superfícies coincidentes de contacto são ambas isotropicamente superacabadas para uma rugosidade média aritmética (R_a) de menos de aproximadamente 0,075 micron utilizando um acabamento vibratório acelerado quimicamente.

De modo similar, as engrenagens nas transmissões auto de corrida, as quais operam sob elevadas cargas com velocidades de cruzeiro de passo alto, beneficiaram deste processo de superacabamento isotrópico com dentes acabados de R_a que vai

de 0,3 micron a menos de 0,025 micron. Tais engrenagens superacabadas experimentam uma fadiga de contacto, temperatura de operação, fricção, ruído e vibração reduzidos (ver, por exemplo, a EP-A-1 167 825).

O superacabamento permite o desenvolvimento da lubrificação hidrodinâmica (HL) ou lubrificação elastohidrodinâmica (EHL). A HL existe quando existe uma separação completa dos dentes de engrenagem de coincidência durante a operação conseguida por uma película de lubrificante contínua. A EHL existe nos dentes de engrenagem coincidentes altamente carregados sob operação quando a formação de película de fluido de separação for influenciada pela deformação elástica das superfícies que estão em contacto. Assim, com a HL ou a EHL durante a sua velocidade elevada e operação de carga elevada, as transmissões de corrida auto superacabadas não experimentam praticamente contacto de metal com metal dos dentes coincidentes.

Em contraste acentuado com as transmissões de corrida auto, as engrenagens de andar planetário de entrada utilizadas na indústria de geração de energia por turbina eólica operam segundo condições significativamente diferentes. Nas aplicações de turbina eólica, as engrenagens experimentam cargas variáveis muito elevadas a velocidades de cruzeiro de passo baixo, de tal modo que é previsível a lubrificação limite em vez da lubrificação hidrodinâmica (HL) ou elastohidrodinâmica (EHL). A lubrificação limite existe quando os dentes de engrenagem coincidentes durante a operação são molhados com fluido mas a espessura de película lubrificante é menor do que a rugosidade superficial de coincidência combinada. Assim, a película lubrificante pode ser penetrada por asperezas de pico, e o contacto de metal com metal gera detritos de metal a partir dos dentes de engrenagem. Os dentes de engrenagem de turbina eólica rectificadas fabricados tradicionalmente (ver "Standard for Design and Specification of Gear Boxes for Wind Turbines", ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03) depois do processo de rodagem abaixo descrito, são polidos para alcançar um acabamento superficial de $R_a = 0,5 - 0,7$ micron. Contudo, aqueles que têm experiência na arte reconhecem que uma roda oca fabricada tradicionalmente terá um acabamento superficial muito mais

alto. É recomendado pela norma AGMA que este acabamento de engrenagem não excede $R_a > 1,6$ micron. Os acabamentos de 0,5 - 0,7 micron são considerados suficientes para evitar a maior parte do contacto de flanco de metal com metal. Também se acreditou que esta condição de superfície iria resultar numa significativa retenção de lubrificante necessária com os dentes de engrenagem de movimento lento e, assim, seria alcançada a melhor condição de lubrificação possível. Contudo, uma principal fonte de falha da caixa de engrenagens da turbina eólica é a falha das chumaceiras. Mesmo com a rodagem a alcançar os acabamentos acima, o contacto dos dentes de metal com metal continua nos dentes do andar de engrenagem planetária e produz detritos de lubrificante, o que por sua vez contribui para a rápida falha das chumaceiras.

Em contraste, pensou-se que o superacabamento vibratório acelerado quimicamente para uma condição de $R_a < 0,3$ micron era demasiado liso para geradores de turbina eólica de grandes dimensões, pelo facto de os flancos dos dentes virem a ter uma retenção de lubrificante insuficiente para operação e previa-se a falha do dente. Assim, era questionável se o superacabamento que utilizava um acabamento vibratório acelerado quimicamente do andar planetário de entrada adicionaria ou não qualquer valor de desempenho à caixa de engrenagens. Apenas testes de campo extensos e dispendiosos poderiam proporcionar a resposta.

Em adição, aqueles que são especialistas na arte pensaram que as engrenagens de grandes dimensões e pesadas que fazem um andar planetário de entrada de um gerador de turbina eólica de grandes dimensões não poderiam ser processadas em equipamento de acabamento vibratório utilizado no processo de acabamento vibratório acelerado quimicamente. Este equipamento de acabamento vibratório encontra-se na forma de uma bacia ou cuba. As engrenagens de andar planetário de entrada têm tipicamente 200 kg ou mais para geradores de uma capacidade de saída de 500 kW e maiores. Pensou-se que este peso de engrenagem ficasse para além da gama normal de operação para o equipamento de acabamento vibratório.

Em particular, pensou-se que uma engrenagem de roda oca de grandes dimensões (coroa exterior) pesando de 400 kg a mais do que 5000 kg não poderia ser superacabada numa bacia vibratória grande. Uma pessoa perita na arte teria previsto que uma engrenagem maciça dessas com a sua área seccional transversal relativamente pequena iria afundar-se imediatamente na bacia danificando o revestimento, a engrenagem ou ambos. Em adição, esperou-se que a engrenagem pesada fracturasse quantidades significativas do meio cerâmico utilizado no equipamento de acabamento vibratório devido à elevada pressão exercida sobre o meio. Os desperdícios produzidos pelo esmagamento do meio cerâmico teriam pontas e arestas aguçadas. Em vez de alisar as superfícies de contacto críticas dos dentes de engrenagem para uma condição de superacabamento, previu-se que estes fragmentos de meio viessem a danificar estas superfícies resultando em superfícies rugosas, goivadas e até picadas, especialmente mais perto do fundo da bacia onde a pressão é maior. Os danos teriam sido significativamente aumentados para engrenagens de roda oca mais macias endurecidas de fora a fora (32-40 HRC). A razão alta antecipada do meio de desgaste fracturar também irá adicionar um custo de processamento não aceitável assim como provocar o problema do entupimento e do bloqueio dos drenos da máquina de processamento.

Adicionalmente, no processamento da roda oca, esperava-se que se verificasse uma variação na intensidade da pressão do meio através do avanço dos dentes de engrenagem. A pressão do meio sobre os dentes de engrenagem mais perto do fundo da bacia é maior do que a pressão do meio perto do topo. Como resultado, esperava-se remover mais material dos dentes de engrenagem mais perto do fundo do que mais perto do topo. Por conseguinte, a engrenagem de roda oca processada de modo vibratório poderia acabar por ficar fora da tolerância dimensional. Isto poderia ser parcialmente atenuado ao remover a engrenagem a meio do processo, virando-a, devolvendo-a à bacia, e continuando o processo. Deve ser mencionado que virar uma engrenagem grande dessas é demorado e potencialmente perigoso. Além disso, parte da largura central dos dentes de engrenagem seria processada duas vezes o tempo de acabamento, provocando possivelmente uma mudança

resultante na geometria do dente. Cada um dos inconvenientes acima previstos teria sido previsto para tornar este processo de superacabamento para engrenagens de roda oca de grandes dimensões comercialmente impraticável e imprevisível.

Teriam sido esperados inconvenientes similares para o acabamento vibratório acelerado quimicamente das outras engrenagens que fazem o andar planetário de entrada de uma caixa de engrenagens de turbina eólica. Estas engrenagens, conhecidas como planetárias e pinhões centrais, são similarmente maciças, pesando tipicamente mais de 200 kg cada. Como tal, aqueles que são especialistas na arte teriam previsto que não poderiam ser processadas em equipamento de acabamento vibratório, quer seja bacias ou cubas. Por conseguinte, a indústria das turbinas eólicas pode não aperceber-se dos benefícios deste processo de superacabamento para o andar planetário de entrada da caixa de engrenagens.

Deve notar-se que é desejável poder utilizar-se engrenagens de roda oca endurecidas de fora a fora em vez de rodas ocas nitruradas a gás ou carburadas a gás no andar de engrenagem planetária de entrada de grandes dimensões. As rodas ocas endurecidas de fora a fora são menos dispendiosas de fabricar.

A nitruração a gás é dispendiosa, demorada, e produz uma "camada branca" muito dura, quebradiça, nas superfícies dos dentes. Aqueles que têm prática na arte irão reconhecer que esta camada branca tem de ser removida antes da utilização da engrenagem. Contudo, a remoção da camada branca por esmerilagem tem uma grande despesa e risco no sentido de arruinar a roda oca. A remoção alternativa da camada branca por dissolução química é um processo muito perigoso e pouco amigo do ambiente.

Na carburação a gás, devido à distorção significativa a partir do processo de tratamento por calor, o esmerilamento final dos dentes é necessário, o que também é um processo dispendioso. Além do mais, depois do esmerilamento final, a roda oca carburada a gás requer uma inspeção do aquecimento da têmpera, um outro processo perigoso e pouco amigo do ambiente.

Adicionalmente, as rodas ocas endurecidas de fora a fora não são só menos dispendiosas de fabricar como as mesmas também podem ser mais precisas geometricamente quando comparadas com as rodas ocas nitruradas ou carburadas. Isto é muito benéfico pelo facto de as engrenagens restantes do conjunto de engrenagem planetária serem fabricadas de modo rotineiro com uma alta precisão geométrica. Assim, se uma roda oca endurecida de fora a fora mais precisa, menos dispendiosa, poder ser operada com engrenagens planetárias e pinhões centrais de alta precisão, o conjunto de engrenagem planetária resultante pode ser altamente eficiente e ter durabilidade suficiente. Se a roda oca endurecida de fora a fora poder ser superacabada utilizando um acabamento vibratório acelerado quimicamente, os seus dentes terão capacidade superficial suficiente e serão capazes de operar em regimes HL ou EHL, reduzindo desse modo a geração de detritos. Assim, se as rodas ocas endurecidas de fora a fora superacabadas combinadas com os pinhões centrais e as engrenagens planetárias superacabadas poderem operar de modo satisfatório em turbinas eólicas concebidas para carga e velocidade, o resultado será um andar de engrenagem planetária de entrada superior. Em alternativa, se as engrenagens planetárias e pinhão central poderem ser superacabadas e forem levadas a coincidir com uma roda oca não superacabada, independentemente do seu tratamento térmico metalúrgico, o resultado seria um andar de engrenagem planetária de entrada aperfeiçoado para um gerador de turbina eólica de capacidade de saída de 500 kW e maior. Por conseguinte, superacabar algumas, ou de preferência todas as engrenagens no andar planetário de entrada, irá resultar numa redução ou eliminação dos detritos de lubrificante gerados a partir dos dentes de engrenagem, reduzindo ou eliminando desse modo uma fonte de danos para as chumaceiras.

De facto, os fabricantes de caixas de engrenagens para geradores de energia de turbina eólica de grandes dimensões apenas tinham uma escolha viável para reduzir as asperezas de pico depois da esmerilagem, e que era o processo de rodagem. No processo de rodagem, as engrenagens são alisadas no estado montado ao operar as caixas de engrenagens segundo várias cargas e velocidades, de tal modo que as asperezas de pico de área de contacto entram em corte ou se deformam plasticamente

a elas próprias. Deve ser mencionado que isto foi também o caminho mais económico a seguir dado que a caixa de engrenagens tinha de ser testada e certificada de qualquer das formas em condições de carga antes do seu envio e instalação no seu destino final. A fase de rodagem e teste pode ser conduzida simultaneamente no mesmo equipamento de teste. A AGMA/AWEA & The Danish Energy Agency, por exemplo, publicou orientações escritas para conceber caixas de engrenagens de turbina eólica e realça a necessidade da rodagem. O impacto do acabamento superficial na durabilidade do dente da engrenagem é brevemente discutido, mas não é dada consideração à metodologia do alisamento da superfície. Esta visão, de que o método de remover as asperezas de pico é irrelevante, é em geral partilhada por esta indústria assim como outros fabricantes de engrenagens.

Um processo de rodagem ideal requer a operação da caixa de engrenagens com cargas e velocidades diferentes para estimular as condições de campo reais de modo a alisar os picos de aspereza através de toda a superfície de suporte de carga. Contudo, duplicar as condições de serviço reais num equipamento de teste não é só virtualmente impossível como também é impraticável devido às restrições do equipamento, tempo e custo. Durante o processo de rodagem, a espessura da película de óleo é muitas vezes reduzida intencionalmente para permitir mais contacto de pico de aspereza, resultando desse modo numa superfície mais lisa. Uma vez terminado o processo de rodagem, o sistema de filtragem e lubrificante de rodagem da caixa de engrenagens deve ser sujeito a manutenção. Tipicamente, o lubrificante é drenado, a caixa de engrenagens lavada, e substituído por lubrificante novo, e o filtro, que apanha os detritos de metal gerados durante o processo de rodagem, é limpo ou substituído. Infelizmente, mesmo durante a rodagem, estes detritos de metal podem dar início a danos graves nas chumaceiras e nas superfícies de contacto de engrenagem antes da recolha num filtro. Mais ainda, a maior parte dos filtros tem capacidade para apanhar apenas as partículas de detritos maiores e permitir a passagem das partículas mais finas. Estas partículas finas ainda são capazes de provocar danos à superfície, em particular nas chumaceiras da caixa de engrenagens.

Além disso, independentemente de como completa ou cuidadosamente o processo de rodagem é conduzido, este processo deixa o material microscópico sem tensões (ascendentes de tensão) nas regiões de contacto dos dentes das engrenagens devido às altas tensões criadas para mecanicamente cortar, quebrar ou deformar elasticamente as asperezas de pico. Estes ascendentes de tensão actuam como locais de iniciação para futuras falhas de fadiga por contacto ou por micro corrosão pontiforme.

Consequentemente, mesmo depois da rodagem, as engrenagens planetárias de entrada experimentam muitas vezes uma micro corrosão pontiforme durante o período prematuro da manutenção no local. A micro corrosão pontiforme em si mesma é uma outra fonte de detritos de metal a qual pode provocar mais danos às chumaceiras e às superfícies de contacto de engrenagem, uma vez que os detritos de metal não são imediata ou completamente encurralados pelo sistema de filtração. Deve ser realçado que até as partículas de detritos de metal microscópicas, as quais podem passar através de um filtro de 10 - micron, ainda são demasiado grandes para dar início aos estragos. A micro corrosão pontiforme é acusada de ser um indicador de possíveis problemas futuros de desgaste sérios e/ou de falha da engrenagem. Sempre que ocorre um desgaste sério, o perfil de dente de engrenagem é mudado conduzindo ao aumento da vibração e ruído, o que coloca uma elevada tensão no sistema de caixa de engrenagens.

Adicionalmente, os procedimentos de rodagem apenas alisam tipicamente o lado de accionamento da roda oca e do pinhão central, enquanto deixam os lados costeiros destes dentes de engrenagem tal como foram maquinados. Durante as condições de operação adversas tais como em rajadas fortes de vento ou rotura da turbina, a carga lateral costeira pode ser suficientemente alta para produzir contacto de aspereza e contribuir para os detritos de metal prejudiciais. Contudo, as engrenagens superacabadas vibratórias aceleradas quimicamente são alisadas em ambos os lados das superfícies de dentes de contacto.

Mais uma vez, precisa ser dado ênfase ao facto de a indústria ter falhado em dar orientação ao actual acabamento

superficial óptimo ou ao método de geração de tais superfícies óptimas para melhorar a durabilidade da caixa de engrenagens. Em vez disso, tem assente principalmente nos procedimentos de rodagem para alisar as áreas de contacto dos dentes da engrenagem para aquilo que se acreditava ser uma condição satisfatória.

SÚMARIO DO INVENTO

É aqui descrito um sistema de engrenagem planetária grande aperfeiçoado utilizado no andar de entrada de geradores de energia de turbina eólica. Este sistema de engrenagem planetária aperfeiçoado reduz ou elimina os detritos de lubrificante tradicionalmente gerados a partir dos dentes de engrenagem, eliminando desse modo uma fonte de iniciação de falhas de chumaceira. Para alcançar estes resultados, alguns, e de preferência todos os dentes de engrenagem dentro do sistema de engrenagem planetário, são superacabados utilizando um acabamento vibratório acelerado quimicamente numa rugosidade superficial de aproximadamente 0,25 micron ou menos.

O invento é definido pelas reivindicações independentes 1, 6 e 9, respectivamente.

Em particular, é descrito um método novo para superacabamento da engrenagem de roda oca maciça, especialmente uma engrenagem de roda oca endurecida de fora a fora, colocada horizontalmente numa bacia vibratória.

Será apreciado que os ensinamentos inventivos descritos aqui são úteis para todas as outras aplicações de conjuntos de engrenagens planetárias de grandes dimensões. De modo similar, os ensinamentos deste invento são aplicáveis a algumas ou todas as engrenagens de outros tipos de caixas de engrenagens de grandes dimensões, não planetárias, onde os regimes de lubrificação limite existem devido aos acabamentos de dentes rectificadas de modo tradicional. O estilo das engrenagens dentro destas caixas de engrenagens, tais como a direita, helicoidal, frontal, cónica e semelhantes não são importantes para o conceito inventivo aqui descrito.

Será prontamente aparente para aqueles que são peritos nesta arte que podem ser feitas várias modificações e mudanças de uma natureza óbvia, e todas essas modificações e mudanças são consideradas por caírem dentro do âmbito das reivindicações. Outras concretizações do invento tornar-se-ão aparentes para aqueles que são especialistas na arte a partir da consideração da especificação e prática do invento descrito aqui. Os exemplos são o superacabamento de todas as engrenagens e/ou todas as chumaceiras dentro destes tipos de caixas de engrenagens de grandes dimensões. Assim, as concretizações específicas descritas não se destinam a serem limitadoras mas meramente ilustrativas do método inventivo.

A única e significativa característica do processo utilizado no presente invento é o mecanismo de nivelamento de superfície utilizado para alcançar o acabamento de superfície. Uma solução química é utilizada na bacia ou cuba vibratória em conjunto com o meio cerâmico. Quando introduzida na máquina, esta solução química reage com o metal e produz um revestimento estável de conversão suave através das asperezas (picos e vales) dos dentes de engrenagem. O movimento de friccionar através dos flancos dos dentes da engrenagem desenvolvido pela máquina e meio vai friccionar com eficácia o revestimento de conversão dos "picos" das superfícies, mas deixa os "vales" intocáveis. O revestimento de conversão é continuamente formado de novo e friccionado durante esta fase, produzindo um mecanismo de nivelamento de superfície. Este mecanismo é continuado na máquina vibratória até que o acabamento superficial desejado seja alcançado. Neste momento, a química activa é desactivada e é tipicamente enxaguada da máquina com uma solução de brunir, a qual não reage com o metal de base. Durante esta fase, o revestimento de conversão é friccionado dos flancos dos dentes da engrenagem uma última vez para produzir as engrenagens acabadas para o andar de engrenagem planetária de entrada. E finalmente, uma vez que o processo é à base de água, aproximadamente à temperatura ambiente e em atmosfera aberta, não existe a hipótese de temperar a engrenagem com o acabamento vibratório acelerado quimicamente. Assim, a inspecção de aquecimento de têmpera não é necessária depois do superacabamento com o presente invento.

Uma vez que os picos de aspereza são removidos antes da instalação, não são introduzidas micro-tensões tal como no procedimento de alisamento de rodagem convencional. De facto, a necessidade de rodagem é grandemente reduzida ou completamente eliminada. Assim, os problemas da micro corrosão pontiforme e da corrosão por atrito das superfícies das engrenagens são reduzidos ou eliminados. Além disso, as engrenagens acabadas com o presente invento não geram detritos de metal significantes no arranque ou depois de estarem em manutenção por longos períodos, e assim evitam-se os detritos de metal que danificam as chumaceiras. Isto também permite um intervalo de tempo maior entre a manutenção da lubrificação. Uma vez que o alisamento das superfícies também reduz a fricção, as engrenagens não contribuem para picos de temperatura de rotura típicos responsáveis por um período de vida reduzido do lubrificante, chumaceiras e vedantes. O ruído e a vibração também se podem esperar serem reduzidos por duas razões. Em primeiro lugar, uma redução da fricção terá efeito na redução da vibração e do ruído. Em segundo lugar, uma redução no desgaste significa que o erro de transmissão ficará mais constante com o tempo e, por conseguinte, o ruído também não aumentará.

Antes deste invento, foram feitas tentativas para melhorar a durabilidade das caixas de engrenagens de gerador de energia de turbina eólica ao esmerilar superficialmente os dentes de engrenagem e em seguida uma rodagem, pelo que a caixa de engrenagens foi operada sob cargas e velocidades variáveis. A rodagem pode remover as asperezas de pico de algumas das superfícies de coincidência de dente de engrenagem, mas também tem um número de deficiências sérias tal como discutido acima quando se compara com o presente invento. Em conformidade, os vários objectos e vantagens do presente invento sobre a esmerilagem de dentes e processo de rodagem aplicáveis aos geradores de energia de turbina eólica que têm uma capacidade de energia de saída individual de 500 kW e maiores são:

1. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado que tem a totalidade dos flancos de dentes superacabados, o que reduz ou elimina os detritos de metal

danificadores gerados pelas engrenagens durante a rodagem ou durante a manutenção real;

2. proporcionar um andar planetário aperfeiçoado com detritos de metal significativamente reduzidos ou eliminados normalmente gerados a partir dos dentes de engrenagem, reduzindo ou eliminando desse modo uma fonte de iniciação para falhas de chumaceira;

3. proporcionar um método prático e eficaz sob o ponto de vista do custo do superacabamento das engrenagens de roda oca de grandes dimensões, especialmente rodas ocas endurecidas de fora a fora de geometria altamente precisa, utilizando o acabamento vibratório acelerado quimicamente para uma superfície superior que tem uma R_a inferior, uma R_{mr} aumentada, e uma significativa redução nos ascendentes de tensão;

4. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado uma vez que agora alguns e de preferência todos os flancos de engrenagem de qualquer engrenagem tipo 200 kg e maiores podem ser superacabados para uma R_a de 0,25 micron ou menos enquanto se mantêm as tolerâncias dimensionais;

5. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado com corrosão por fricção e micro corrosão pontiforme significativamente reduzidas, que pode conduzir a uma macro corrosão pontiforme futura, desgaste e finalmente à falha dos dentes e das chumaceiras;

6. proporcionar um método que simultaneamente acabe com qualidade superior os lados de accionamento e costa de todas as engrenagens e em particular os dentes da roda oca e do pinhão central, reduzindo ou eliminando de novo o potencial dos detritos de metal prejudiciais;

7. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado com um ponta de temperatura significativamente reduzida que pode ser danoso para a metalurgia, lubrificantes e vedantes durante a rodagem ou operação em campo anterior;

8. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado com uma vibração e/ou ruído significativamente reduzidos provocados pela fricção e/ou mudanças de perfil de dente devido ao desgaste;

9. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado que tem engrenagens com uma relação de material aumentada (R_{mr}) nas superfícies de dentes de contacto que permite uma densidade de energia maior;

10. proporcionar um andar planetário de entrada aperfeiçoado que permite uma racionalização ou eliminação do processo de rodagem;

11. proporcionar um processo que não precisa de inspecção do aquecimento da têmpera depois das engrenagens serem superacabadas;

12. proporcionar um processo de acabamento vibratório acelerado quimicamente, aplicável a todos as engrenagens tipo de 200 kg e maiores em todos os tipos de caixas de engrenagens que operam num regime de lubrificação limite, de tal modo que o superacabamento reduz ou elimina os detritos de lubrificante; e

13. proporcionar uma caixa de engrenagens grande aperfeiçoada onde algumas, ou de preferência, todas as engrenagens e/ou chumaceiras são superacabadas para reduzir ou eliminar os detritos de lubrificante.

Outros objectos e vantagens tornar-se aparentes a partir de uma consideração da descrição e desenhos que se seguem.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Fig. 1 é um desenho da secção transversal de uma caixa de engrenagens planetárias com três engrenagens planetárias.

A Fig. 2a é um desenho de um dente de engrenagem que ilustra a área de contacto de dente.

A Fig. 2b é um desenho da secção transversal de dois dentes de engrenagem.

A Fig. 3 é um desenho da bacia vibratória que contém o meio utilizado para superacabar a engrenagem de roda oca;

A Fig. 4 é um desenho da bacia vibratória que ilustra a posição ideal para a engrenagem de roda oca durante o processo de superacabamento.

A Fig. 5 é um desenho que ilustra a localização na qual as soluções químicas são distribuídas durante o processo de superacabamento.

A Fig. 6 são os parâmetros superficiais e de perfil medidos num flanco típico maquinado/rectificado de um dente de engrenagem de roda oca.

A Fig. 7 são os parâmetros de superfície e de perfil medidos num flanco típico superacabado de um dente de engrenagem de roda oca que utiliza o presente invento.

DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

A Figura 1 é um desenho de um andar planetário de entrada tipicamente utilizado em caixas de engrenagens de turbina eólica. Consiste numa engrenagem de roda oca (1), duas ou mais engrenagens planetárias (2) e um pinhão central (3). Os dentes (4) de cada engrenagem destinam-se a ser superacabados. A Figura 2a é uma vista em 3 dimensões de um dente de engrenagem simples (4) e a Figura 2b mostra uma secção transversal em 2 dimensões de dois dentes de engrenagem (4). O dente de engrenagem (4) consiste no flanco (5), o qual é o lado de contacto ou trabalho do dente de engrenagem, a face plana de topo (6), a qual é a superfície de topo do dente de engrenagem, a face plana de fundo (7), a qual é a superfície no fundo do espaço entre os dentes adjacentes, e o rebordo de raiz (8), o qual é a porção arredondada na base do dente de engrenagem entre o flanco de dente (5) e a face plana de fundo (7). A área mais crítica é o padrão de contacto de dente (9), o qual é a área superficial de um dente de engrenagem que tem estado em contacto com o seu correspondente quando as engrenagens estão em operação. No presente invento, uma ou mais das engrenagens planetárias de uma caixa de engrenagens de turbina eólica que inclui o central (3), os planetários (2) e a engrenagem de roda oca (1), são superacabadas nos seus lados de accionamento e de costa utilizando um acabamento acelerado quimicamente numa bacia vibratória ou cuba para uma R_a de 0,25 micron ou menos.

Descrição Geral do Processo de Superacabamento

Segue-se uma descrição geral do processo de superacabamento na Patente U.S. N°. 4,491,500 e 4,818,333,

nos Pedidos de Patente U.S. N°. 10/071,533, 09/758067 e 10/684,073 do mesmo proprietário, cada um dos quais está aqui incorporado por referência. Uma química activa é introduzida dentro do aparelho de acabamento vibratório que é capaz de converter o metal da engrenagem numa composição de uma película de dureza reduzida que é fisicamente e quimicamente estável e pode ou não pode ser visualmente perceptível. Esta película é conhecida como um revestimento de conversão. Quando esta película é desenvolvida na superfície da engrenagem, a acção dos elementos de meio sobre a engrenagem irá apenas remover a película dos picos de aspereza da engrenagem, deixando as áreas deprimidas do revestimento intactas. Ao molhar constantemente a superfície de metal com a química activa, o revestimento estável irá continuamente formar-se de novo, cobrindo aquelas áreas onde o metal subjacente à vista foi recentemente exposto, proporcionando uma nova camada da película relativamente suave. Se essa porção permanecer mais alta do que as áreas adjacentes irá continuar a ser friccionada até que qualquer rugosidade tenha sido virtualmente eliminada.

A quantidade de solução química activa utilizada irá apenas ser aquela que irá manter todas as superfícies das partes tratadas numa condição molhada, de modo a assegurar a nova formação contínua e virtualmente instantânea de qualquer revestimento removido através da acção de friccionar. Tal como será evidente para aqueles que são peritos na arte, a quantidade de qualquer meio utilizado irá depender de numerosos factores, tal como a característica da superfície, área, peso e composição das engrenagens a serem tratadas, a composição da solução utilizada para o revestimento de conversão, as temperaturas de operação, o grau e taxa de refinamento a serem alcançados, etc.

Muito embora as propriedades exibidas pelo revestimento de conversão produzido na engrenagem sejam de importância crucial para a prática bem sucedida do presente processo, a formulação da química activa utilizada para produzir o revestimento não o é. A composição tem de ser capaz de produzir rápida e eficazmente, segundo as condições de operação, produtos de reacção relativamente suaves do metal de base e o revestimento tem de ser substancialmente

insolúvel no meio líquido de modo a assegurar que a remoção ocorra principalmente por friccionamento, em vez de ser por dissolução. A química activa irá em geral consistir em água e até cerca de 40 por cento em peso dos ingredientes activos, compreendendo essencialmente os químicos de conversão mas também incluindo opcionalmente e desejavelmente um agente oxidante, e em algumas situações um estabilizador e/ou um agente humidificante. Depois da quantidade desejada de refinamento ser alcançada, a química activa é desligada. Por conseguinte, pode ser introduzida uma solução de brunimento dentro da máquina vibratória. A solução de brunimento, a qual não é reactiva com o metal de base, serve para remover o revestimento de conversão da superfície para criar uma aparência especular.

Superacabamento das Planetárias e dos Pinhões Centrais

Numa concretização do presente invento, as engrenagens do pinhão central e planetárias podem ser superacabadas em máquinas vibratórias adequadamente dimensionadas de bacia ou cuba. Engrenagens múltiplas com uma montagem adequada podem ser superacabadas de modo simultâneo. Pode ser utilizado um dispositivo para suportar a(s) engrenagen(s) ou para impedir a(s) engrenagen(s) de contactarem os lados da taça ou bacia vibratória enquanto se encontram em operação. A(s) engrenagens são rapidamente agitadas para produzir um movimento relativo entre a(s) engrenagen(s) e o meio cerâmico não abrasivo. As superfícies da(s) engrenagen(s) e o meio são mantidas numa condição molhada com uma solução aquosa de FERROMIL® FML-590 a 30 v/v%. Os elementos de meio sólido não abrasivo são numa quantidade, tamanho e forma de tal modo que, segundo as condições de agitação, produzem um friccionamento de meio uniforme dos dentes de engrenagem. O processo é continuado até que o valor (R_a) da rugosidade média aritmética seja 0,25 micron ou menos. A(s) engrenagen(s) são então brunidas para remover o revestimento de conversão utilizando uma solução aquosa de 1,5 v/v% de FERROMIL® FBC-295 para um aspecto especular.

Embora a concretização preferida contemple a utilização de meio cerâmico não abrasivo, também pode ser utilizado outro meio cerâmico, meio plástico, meio de aço, meio de aço

inoxidável e combinações de tipos diferentes de meio, dependendo das circunstâncias físicas que envolvem o acabamento da engrenagem. Encontra-se dentro da especialidade de uma pessoa na arte determinar que meio, ou combinação de meios, se utiliza em cada circunstância.

Superacabamento da Engrenagem de Roda Oca

Este exemplo ensina uma concretização para superacabamento de uma engrenagem de roda oca de grandes dimensões (1) adequada para caixas de engrenagens de turbina eólica comerciais de capacidade de energia de saída de 500 kW e maiores. A engrenagem de roda oca (1) tem o peso e as dimensões aproximadas que se seguem. Pesa 1,620 kg, tem um diâmetro externo de 171 cm, um diâmetro interno de 146 cm, e uma largura de frente de 38,5 cm. A roda oca pode ser tratada por calor através da carburação a gás, nitruração a gás, ou pode ser por endurecimento de fora a fora. Na Figura 3, uma taça vibratória (10) é enchida em aproximadamente dois terços do seu volume com uma mistura de meio cerâmico abrasivo e não abrasivo (11). A forma e o tamanho do meio são seleccionados de tal modo que uma mistura homogénea de meio tenha contacto uniforme através do flanco de dente de engrenagem. A quantidade de meio também é escolhida para dar a quantidade preferida de acção de elevação durante o processamento, de tal modo que a engrenagem não entra em contacto com o fundo ou com os lados do canal de taça vibratória, ou de tal modo que o topo da engrenagem não suba acima do nível de meio de trabalho. Os pesos do motor estão dispostos num ângulo de avanço de aproximadamente 85 graus.

A engrenagem de roda oca (1) é assente horizontalmente sobre o cubo central (12) da bacia vibratória (10) na massa de meio estacionário (11) que toma um cuidado razoável para centrar a engrenagem de roda oca em relação ao centro da bacia. Tal como ilustrado na Figura 5, uma solução aquosa de FERROMIL® FBC-295 a 1,5 v/v% com um caudal de 20 L/hr é distribuída na região entre a parede do lado de fora da bacia e a superfície exterior da engrenagem (13) para reduzir os efeitos da geração de calor por fricção. Uma solução aquosa de químico activo que consiste em FERROMIL® FML-590 a 30 v/v%

é distribuída a 18 L/hr na região entre o cubo central (12) e os dentes de engrenagem interna (14).

A bacia vibratória (10) é arrancada a uma baixa frequência e é gradualmente aumentada para aproximadamente 46 a 48 hertz, pelo que a engrenagem de roda oca assenta no meio (11). A posição ideal é mostrada na Figura 4 onde a parte mais superior da engrenagem (1) se encontra no ou imediatamente abaixo do meio (11) e a interface de ar. Se a amplitude de bacia vibratória não se encontrar entre 1,5 a 2,0 mm, os ajustamentos devem ser feitos no peso mais baixo para atingir esta amplitude. Esta medição é lida a partir de um calibre de amplitude montado no lado de fora da bacia (10). A engrenagem de roda oca (1) irá permanecer centrada durante o resto do processamento e irá rodar lentamente à volta do cubo central da bacia vibratória (12).

Os parâmetros que se seguem podem ser ajustados conforme necessário de modo a manter a engrenagem (1) na ou imediatamente abaixo da superfície superior do meio (11), de modo que rode de modo uniforme à volta do cubo central (12) da bacia vibratória (10):

- Tamanho médio, forma, composição e percentagem de cada.
- Nível de meio.
- Frequência do motor.
- Amplitude e ângulo de avanço gerados pelo sistema de peso ajustável.
- Concentrações e caudais de soluções de brunir e químicas activas.

O ajustamento destes parâmetros encontra-se dentro do conhecimento de alguém ordinariamente especialista na arte.

O processo é continuado até ao valor (R_a) de rugosidade média aritmética de 0,25 micron ou menos. O escoamento da química activa é desligado, e um composto de brunir que consiste numa solução aquosa de FERROMIL® FBC-295 a 1,5 v/v% é distribuído a 150 L/hr na região entre a coluna central da bacia e os dentes da engrenagem (15). O processo é continuado

até que o revestimento de conversão seja removido, produzindo um aspecto limpo e brilhante.

Os resultados não antecipados que foram obtidos foram:

1. A engrenagem permanece centrada na bacia, e é suspensa do fundo da bacia pelo movimento do meio, e a parte mais superior da engrenagem permanece na ou imediatamente abaixo da interface de meio/ar.
2. A engrenagem é superacabada sem danos a partir do meio ou desperdícios de meio.
3. É conseguida uma R_a de 0,25 micron ou menos, e a relação de material é significativamente aumentada.
 - a. A Figura 6 mostra um perfil de rugosidade de superfície típico da área de contacto de dentes de engrenagem antes do superacabamento. A R_a é 0,78 micron e a R_{mr} é 49,4%.
 - b. A Figura 7 mostra o perfil de rugosidade superficial da área de contacto de dentes de engrenagem depois do superacabamento. A R_a é 0,16 micron e a R_{mr} é 73,2%.
4. O acabamento superficial é uniforme, dentro das tolerâncias, através do avanço e do perfil.
5. Apenas uma quantidade insignificante, se alguma, do meio é quebrada pelo processo (isto é, o desgaste de meio foi extremamente baixo).

Teste Planetário em Campo

Duas caixas de engrenagens de gerador de turbina eólica que têm uma capacidade de energia de saída de mais do que 500 kW tinham todas as engrenagens do andar planetário de entrada superacabadas numa rugosidade superficial de 0,25 micron ou menos utilizando o processo descrito no presente invento. Antes do superacabamento, as rodas ocas foram endurecidas de fora a fora e as engrenagens planetárias e os pinhões centrais foram carburados a gás. Depois de serem colocadas em manutenção, as caixas de engrenagens foram inspeccionadas depois de aproximadamente 6 meses e depois de aproximadamente um ano de operação. Não foi observada micro corrosão pontiforme nas superfícies dos dentes de engrenagem. De modo

similar, não se verificaram danos nas chumaceiras. Em comparação, as engrenagens rectificadas alisadas apenas pela técnica da rodagem podem em comum começar a mostrar sinais de micro corrosão pontiforme ou desgaste apenas depois de 6 meses de operação, e as chumaceiras começam a mostrar danos através da inspecção directa ou pela monitorização do ruído/vibração. Outras vantagens antecipadas do presente invento incluem detritos de metal reduzidos, vida da chumaceira melhorada, desgaste reduzido, vibração e ruído reduzidos, resistência à fadiga por contacto melhorada, lubrificação melhorada, aumento do tempo entre as manutenções de lubrificação, um processo simplificado ou eliminado da rodagem, durabilidade melhorada, eficiência, custo de fabrico e operação reduzidos da caixa de engrenagens planetárias.

Embora os aparelhos e os métodos do presente invento tenham sido descritos em termos das concretizações preferidas, será aparente para aqueles que são peritos na arte que podem ser aplicadas variações àquilo que foi descrito aqui sem nos afastar-mos do âmbito do invento o qual é definido pelas reivindicações anexas.

Lisboa, 2009-07-20

REIVINDICAÇÕES

1 - Caixa de engrenagens planetárias de andar de entrada para um gerador de turbina eólica de grandes dimensões que compreende uma engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e um pinhão central, em que uma ou mais das engrenagens de roda oca, duas ou mais das engrenagens planetárias, e um pinhão central compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial final de 0,25 micron.

2 - Caixa de engrenagens planetárias da reivindicação 1, em que os dentes de uma ou mais da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e um pinhão central são superacabados numa rugosidade superficial final de cerca de 0,16 micron.

3 - Caixa de engrenagens planetárias de qualquer reivindicação precedente, em que a caixa de engrenagens planetárias compreende uma caixa de engrenagens planetárias tirada de um gerador de energia de turbina eólica que tem uma capacidade de saída nominal de 500 KW ou maior.

4 - Caixa de engrenagens planetárias de qualquer reivindicação precedente, em que antes de serem superacabadas numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, a uma ou mais da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e o pinhão central são tratados com calor através de um método seleccionado do grupo que consiste em carburação a gás, nitruração a gás e endurecimento de fora a fora.

5 - Caixa de engrenagens planetárias da reivindicação 1, em que cada uma da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e o pinhão central compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetárias e pinhão central compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetárias compreende uma

pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que o lado de accionamento da pluralidade de dentes foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que o lado de costa da pluralidade de dentes foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos.

6 - Engrenagem planetária de andar de entrada para um gerador de turbina eólica de grandes dimensões que tem uma massa maior do que 200 kg que compreende uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos.

7 - Engrenagem da reivindicação 6, em que o lado de accionamento da pluralidade de dentes foi superacabado numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, e o lado de costa da pluralidade de dentes foi superacabado numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos.

8 - Engrenagem da reivindicação 6, em que o lado de accionamento da pluralidade de dentes foi superacabado numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos.

9 - Método para reduzir os detritos de lubrificante numa caixa de engrenagens planetárias de andar de entrada para um gerador de turbina eólica de grandes dimensões, em que a caixa de engrenagens planetárias compreende uma engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e um pinhão central, compreendendo o método o superacabamento dos dentes de uma ou mais da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e pinhão central numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos antes de operar a caixa de engrenagens planetárias.

10 - Método da reivindicação 9, em que uma ou mais da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e pinhão central são superacabados utilizando um acabamento acelerado quimicamente.

11 - Método de qualquer uma das reivindicações 9 ou reivindicação 10, em que antes de serem superacabados numa

rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, a uma ou mais da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e pinhão central são tratados com calor por um método seleccionado do grupo que consiste em carburação a gás, nitruração a gás e endurecimento de fora a fora.

12 - Método de qualquer uma das reivindicações 9 a 11, em que cada uma da engrenagem de roda oca, duas ou mais engrenagens planetárias, e pinhão central compreende uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetárias e pinhão central compreende uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetárias compreende uma pluralidade de dentes que foram superacabados numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, e/ou em que o lado de accionamento da pluralidade de dentes foi acabado com uma qualidade superior numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos, e/ou em que o lado de costa da pluralidade de dentes foi superacabado numa rugosidade superficial de 0,25 μm ou menos.

13 - Método da reivindicação 12, em que a engrenagem de roda oca é superacabada ao agitar a engrenagem de roda oca na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução química que é capaz de reagir com o metal da engrenagem de roda oca para formar uma película que tem uma película de dureza reduzida na superfície da engrenagem de roda oca, de modo que a pluralidade de meios de acabamento pode remover a película de dureza reduzida da superfície da engrenagem de roda oca, refinando desse modo a superfície da engrenagem de roda oca, depois do que a composição que tem uma película de dureza reduzida é imediatamente formada de novo pela reacção entre a engrenagem de roda oca e a solução química para outros refinamentos pela pluralidade de meios de acabamento.

14 - Método da reivindicação 13, em que a pluralidade de meios de acabamento é seleccionada do grupo que consiste em:

meio abrasivo (por exemplo, seleccionado do grupo que consiste em quartzo, granito, óxidos de alumínio naturais e

sintéticos, carboneto de silício, óxidos de ferro e suas misturas), e um meio não abrasivo (por exemplo, seleccionado do grupo que consiste em meio cerâmico, meio de plástico, meio de aço, meio de aço inoxidável e suas misturas);

em que o referido meio abrasivo pode ser retido dentro de uma matriz de porcelana, plástico ou suas misturas.

15 - Método da reivindicação 13 ou reivindicação 14, em que a mistura ocorre dentro de um aparelho de acabamento vibratório.

16 - Método de qualquer uma das reivindicações 13 a 15, em que a quantidade de solução química é suficiente para manter as superfícies da engrenagem de roda oca e pluralidade dos meios de acabamento numa condição molhada.

17 - Método de qualquer uma das reivindicações 13 a 16, em que a solução química compreende um químico seleccionado do grupo que consiste em sal de fosfato, fosfato ácido, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crómico, cromato de sódio, ou misturas do mesmo, ou a solução química compreende um acelerador seleccionado do grupo que consiste em zinco, fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos, meta-nitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e suas misturas.

18 - Método da reivindicação 12, em que as engrenagens planetárias são superacabadas ao agitar as engrenagens planetárias na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução química que é capaz de reagir com o metal das engrenagens planetárias para formar uma película que tem uma película de dureza reduzida na superfície das engrenagens planetárias, de modo que a pluralidade de meios de acabamento pode remover a película de dureza reduzida da superfície das engrenagens planetárias, refinando desse modo a superfície das engrenagens planetárias, depois do que a composição que tem uma película de dureza reduzida é imediatamente formada de novo pela reacção entre as engrenagens planetárias e a solução química para outros refinamentos pela pluralidade de meios de acabamento.

19 - Método da reivindicação 12, em que o pinhão central é superacabado ao agitar o pinhão central na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução química que é capaz de reagir com o metal do pinhão central para formar uma película que tem uma película de dureza reduzida na superfície do pinhão central, de modo que a pluralidade de meios de acabamento pode remover a película de dureza reduzida da superfície do pinhão central, refinando desse modo a superfície do pinhão central, depois do que a composição que tem uma película de dureza reduzida é imediatamente reformada pela reacção entre o pinhão central e a solução química para refinamento adicional pela pluralidade dos meios de acabamento.

20 - Método da reivindicação 18 ou reivindicação 19, em que a pluralidade de meios de acabamento é seleccionada do grupo que consiste em meio abrasivo, meio não abrasivo e suas misturas.

21 - Método da reivindicação 20, em que o meio não abrasivo compreende uma mistura de grãos de óxido fundidos numa massa coerente e substancialmente livres de partículas abrasivas discretas, contendo a massa coerente, numa base livre de oxigénio, cerca de 60 a 80 por cento em peso de alumínio e cerca de 5 a 30 em peso de silício.

22 - Método da reivindicação 21, em que a massa coerente compreende cerca de 76 a 78 por cento em peso de alumínio, cerca de 10 a 12 por cento em peso de silício, cerca de 5 a 9 por cento em peso de ferro e cerca de 4 a 6 por cento em peso de titânio, numa base livre de oxigénio, ou a massa coerente compreende cerca de 63 a 67 por cento em peso de alumínio, cerca de 26 a 36 por cento em peso de silício, cerca de 2 a 4 por cento em peso de sódio, cerca de 1 a 2 por cento em peso de potássio, e cerca de 0,5 a 0,8 por cento em peso de fósforo, numa base livre de oxigénio, ou a massa coerente compreende cerca de 62 a 73 por cento em peso de alumínio, cerca de 7 a 14 por cento em peso de silício, cerca de 10 a 25 por cento em peso de manganês, e cerca de 1 a 4 por cento em peso de sódio.

23 - Método da reivindicação 21 ou reivindicação 22, em que os grãos de óxido têm diâmetros entre 1 micron e 25 micron.

24 - Método de qualquer uma das reivindicações 20 a 23, em que o meio não abrasivo tem uma densidade de pelo menos cerca de 2,75 gramas por centímetro cúbico, e/ou tem um valor de dureza médio de pirâmide de diamante de pelo menos cerca de 845.

25 - Método de qualquer uma das reivindicações 20 a 24, em que a redução média de peso da pluralidade de meios de acabamento provocada pela sua agitação no processo não excederá cerca de 0,1 por cento por hora.

26 - Método de qualquer uma das reivindicações 18 a 25, em que a quantidade de solução química é suficiente para manter as superfícies da engrenagem de roda oca e a pluralidade de meios de acabamento numa condição molhada.

27 - Método de qualquer uma das reivindicações 18 a 26, em que a solução química compreende um químico seleccionado do grupo que consiste em sal de fosfato, fosfato ácido, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crómico, cromato de sódio, ou misturas do mesmo, ou a solução química compreende um acelerador seleccionado do grupo que consiste em zinco, fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos, meta-nitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e suas misturas.

28 - Método de qualquer das reivindicações 12 a 27, em que a engrenagem tem uma massa maior do que 200 kg e é superacabada utilizando um acabamento acelerado quimicamente.

29 - Método da reivindicação 28, em que a engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg é superacabada ao agitar a engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução química que é capaz de reagir com o metal da engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg para formar uma película

que tem uma película de dureza reduzida na superfície da engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg, de modo que a pluralidade de meios de acabamento pode remover a película de dureza reduzida da superfície da engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg, refinando desse modo a superfície da engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg, depois do que a composição que tem uma película de dureza reduzida é imediatamente re-formada pela reacção entre a engrenagem que tem uma massa maior do que 200 kg e a solução química para refinamento adicional pela pluralidade dos meios de acabamento.

30 - Método da reivindicação 29, em que a pluralidade de meios de acabamento é seleccionada do grupo que consiste em:

meio abrasivo seleccionado (por exemplo, a partir do grupo que consiste em quartzo, granito, óxidos de alumínio naturais e sintéticos, carboneto de silício, óxidos de ferro e suas misturas), e em que o referido meio abrasivo pode ser mantido dentro de uma matriz de porcelana, plástico ou suas misturas;

meios não abrasivos seleccionados (por exemplo, a partir do grupo que consiste em meio cerâmico, meio de plástico, meio de aço, meio de aço inoxidável e suas misturas);

e suas misturas.

31 - Método da reivindicação 29 ou reivindicação 30, em que a mistura ocorre dentro de um aparelho de acabamento vibratório.

32 - Método de qualquer uma das reivindicações 29 a 31, em que a quantidade de solução química é suficiente para manter as superfícies da engrenagem de roda oca e a pluralidade de meios de acabamento numa condição molhada.

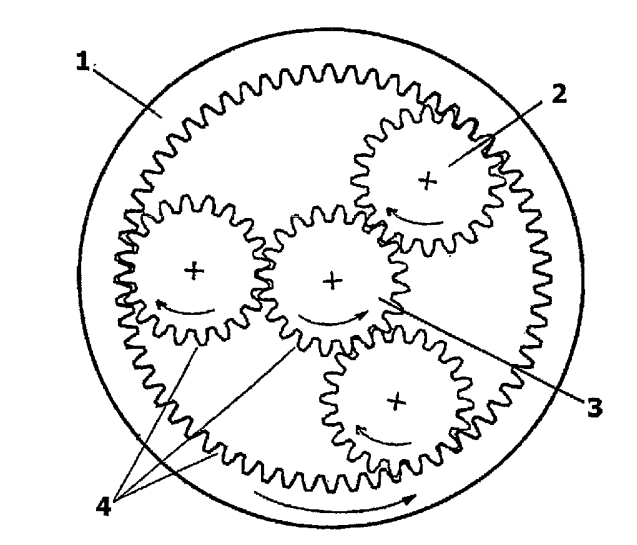
33 - Método de qualquer uma das reivindicações 29 a 32, em que a solução química compreende um químico seleccionado do grupo que consiste em sal de fosfato, fosfato ácido, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crómico, cromato de sódio ou misturas do mesmo, ou a solução química compreende um acelerador seleccionado do grupo que consiste em zinco,

fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos, meta-nitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e suas misturas.

Lisboa, 2009-07-20

RESUMO**"Superacabamento de sistemas de engrenagens planetárias de grandes dimensões"**

É aqui descrito um novo sistema de engrenagens planetárias de grandes dimensões aperfeiçoado utilizado no andar de entrada de geradores de energia de turbina eólica. Este sistema de engrenagens planetárias aperfeiçoado reduz ou elimina os detritos de lubrificante que se geram tradicionalmente a partir dos dentes de engrenagem, eliminando desse modo uma fonte iniciadora de falha de chumaceira. Para conseguir estes resultados, alguns, e de preferência todos os dentes de engrenagem (4) dentro do sistema de engrenagens planetárias (1, 2, 3), são superacabados utilizando um acabamento vibratório acelerado quimicamente até uma rugosidade superficial de aproximadamente 0,25 micron ou menos. Vários objectos e vantagens do invento consistem em proporcionar uma caixa de engrenagens com reduzidos detritos de metal, tempo de vida de chumaceira melhorado, desgaste reduzido, ruído vibro-friccional reduzido, fadiga pelo contacto melhorada, resistência ao atrito melhorada, lubrificação melhorada, para simplificar o processo de rodagem e para melhorar a durabilidade e a eficiência da caixa de engrenagens.



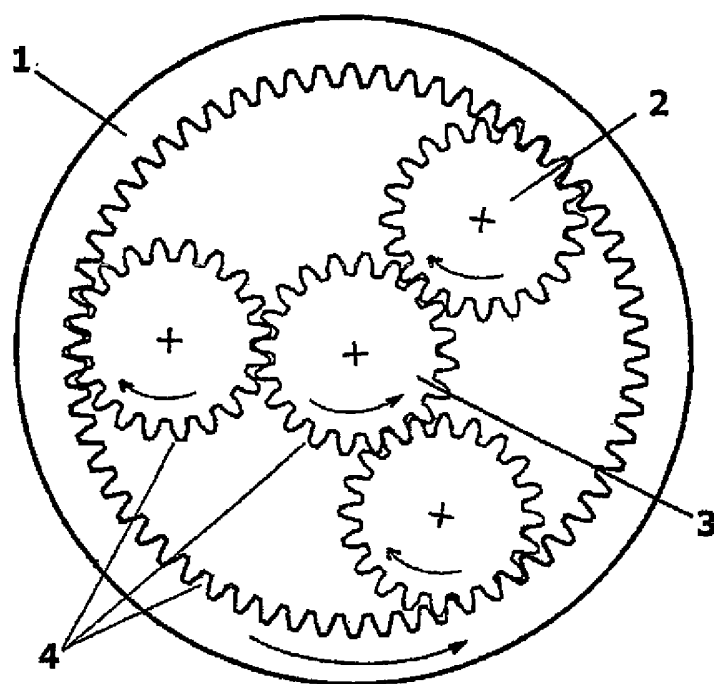


Fig. 1

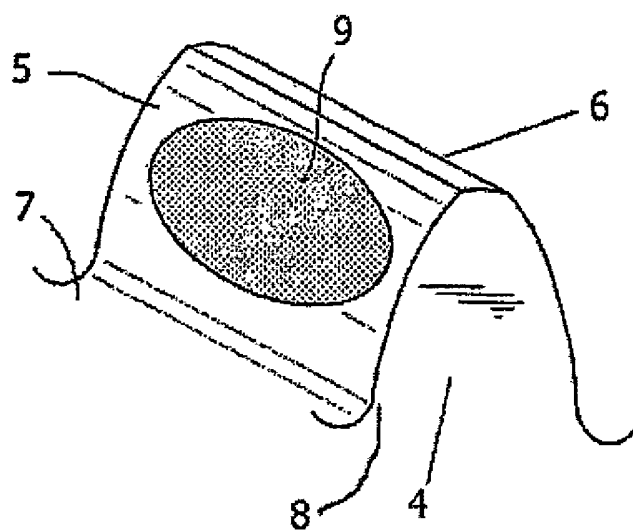


Fig. 2a

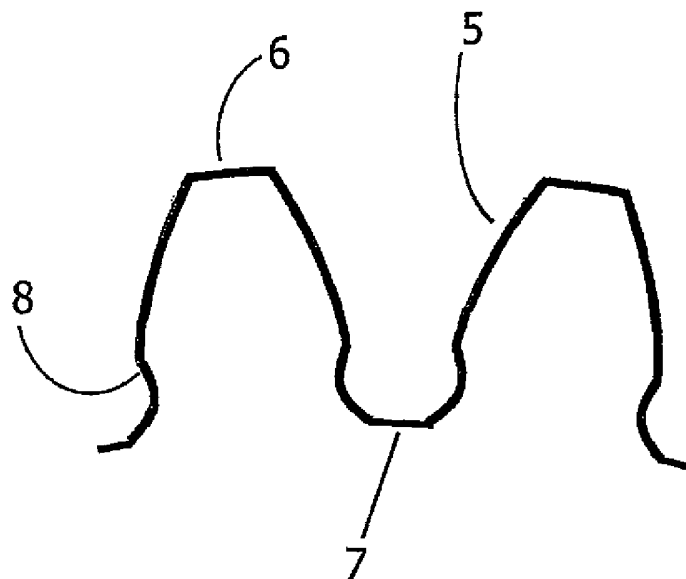
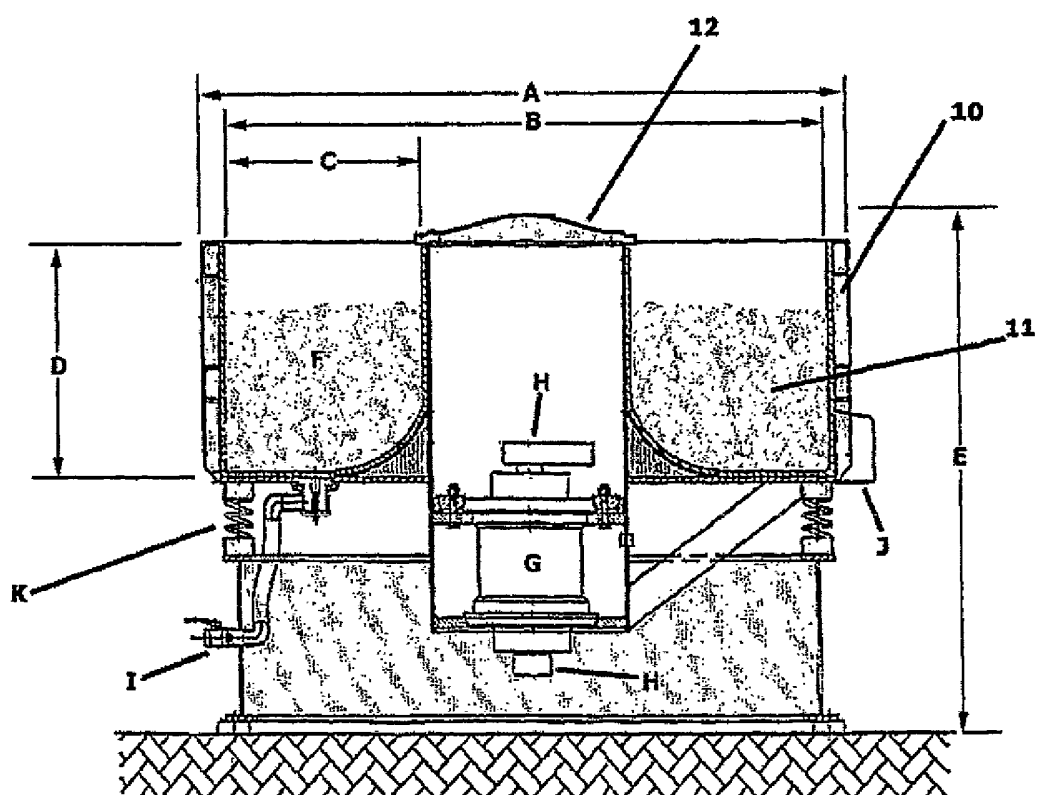
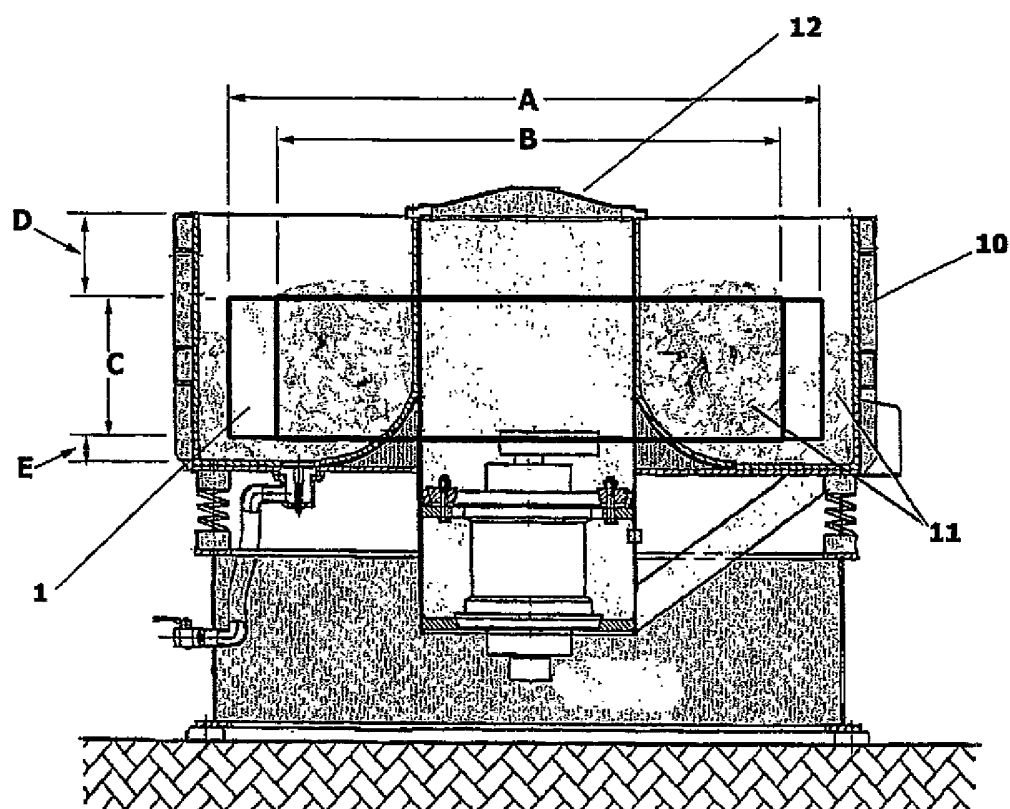


Fig. 2b



A	Diâmetro exterior da bacia vibratória	201
B	Diâmetro interno da bacia vibratória	188
C	Largura do canal	62
D	Profundidade do canal	65
E	Altura total da bacia vibratória	148
F	Canal de processamento	
G	Motor de 7,5 kW	
H	Braços de altura ajustável	
I	Dreno	
J	Porta de descarga de meio	
K	Mola	

Figura 3



A	Diâmetro exterior da engrenagem de roda oca	169
B	Diâmetro interno da engrenagem de roda oca	146
C	Largura da face da engrenagem	39
D	Distância do topo da engrenagem ao topo do canal	21
E	Distância aproximada do fundo da engrenagem até ao fundo do canal	5

Fig. 4

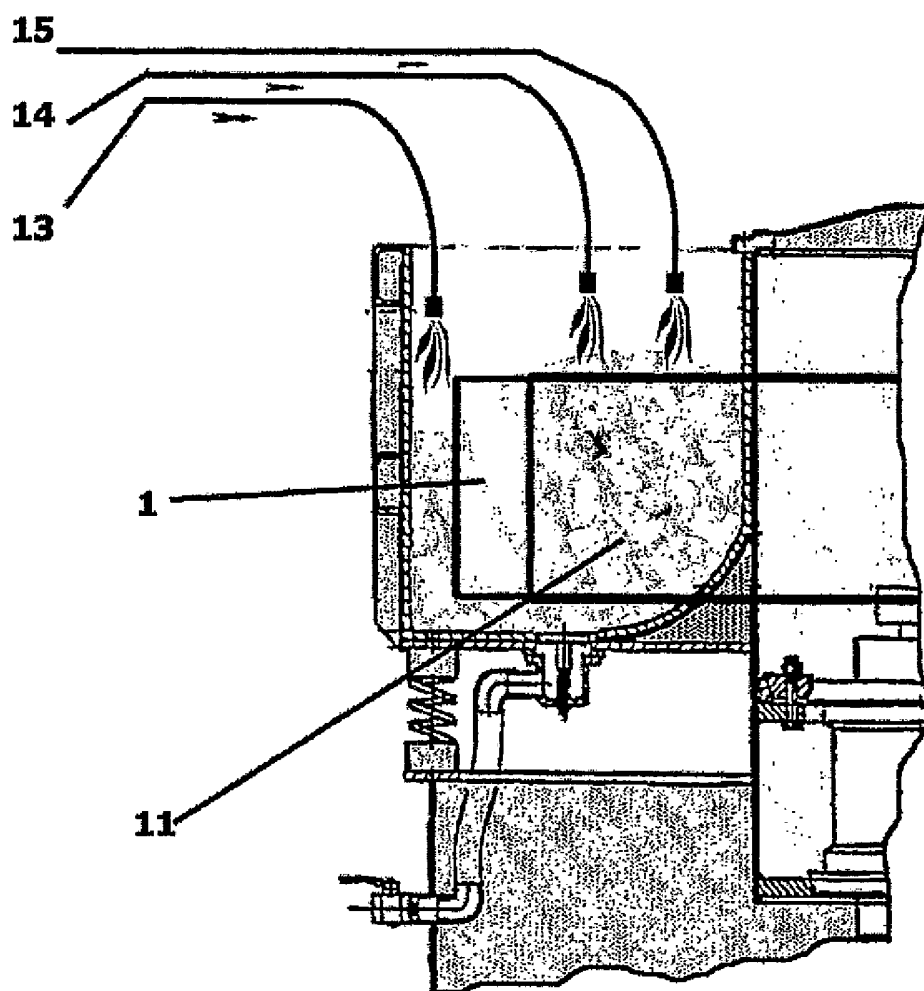


Fig. 5

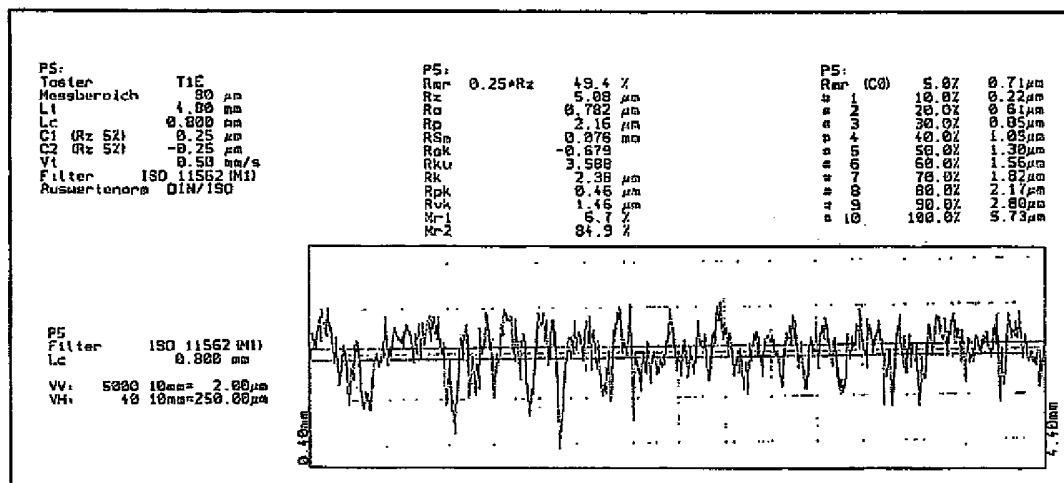


Fig. 6

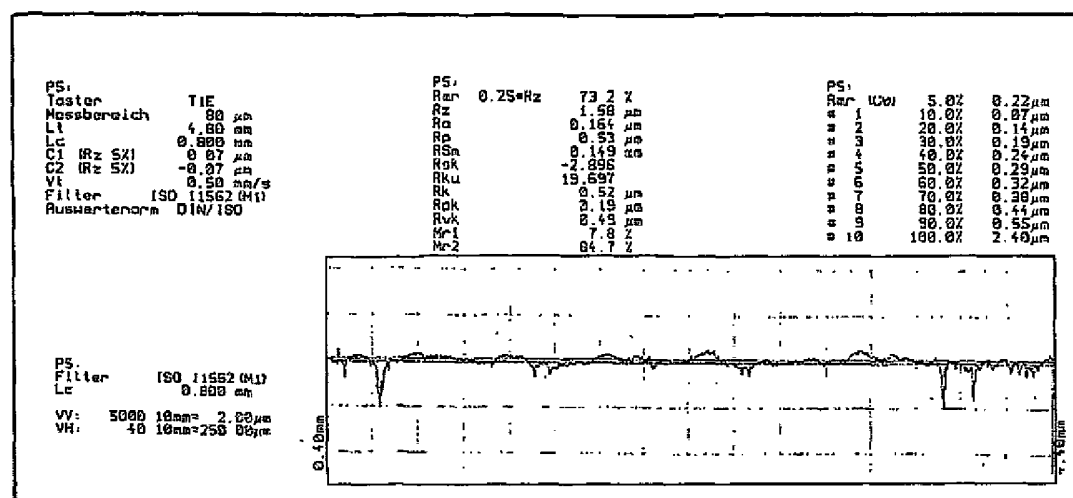


Fig. 7