



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

**(11) PI 0410848-5 B1**



**(22) Data de Depósito:** 28/05/2004

**(45) Data da Concessão:** 21/07/2015  
**(RPI 2324)**

---

**(54) Título:** CAIXA DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA, ENGRENAGEM DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA E MÉTODO PARA A REDUÇÃO DE RESÍDUO DE LUBRIFICANTE EM UMA CAIXA DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA PARA UM GERADOR DE TURBINA DE VENTO GRANDE

**(51) Int.Cl.:** B24B31/00; B23F19/00; F16H55/06

**(30) Prioridade Unionista:** 30/05/2003 US 60/474,836, 02/06/2003 US 60/475,210, 02/06/2003 US 60/475,210, 30/05/2003 US 60/474,836

**(73) Titular(es):** Orso Gmbh, Rem Technologies, Inc.

**(72) Inventor(es):** Edward Summers, Mark Michaud

**CAIXA DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA, ENGRENAGEM DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA E MÉTODO PARA A REDUÇÃO DE RESÍDUO DE LUBRIFICANTE EM UMA CAIXA DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA PARA UM GERADOR DE TURBINA DE VENTO GRANDE**

[001] Este pedido reivindica o benefício de data de depósito do Pedido Provisório dos Estados Unidos N° 60/474.836 depositado em 30 de maio de 2003, e também reivindica o benefício de data de depósito do Pedido Provisório dos Estados Unidos N° 60/475.210, depositado em 2 de junho de 2003.

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] Esta invenção se refere a um novo estágio planetário de entrada melhorado para uma caixa de transmissão grande. O estágio planetário de entrada citado nesta invenção é para um gerador de potência de turbina de vento tendo uma classificação de capacidade de potência de saída de 500 kW e maior.

[003] Os geradores de potência de turbina de vento são considerados um dos métodos mais efetivos em termos de custos e mais amigáveis em termos ambientais de geração de eletricidade. As turbinas de vento individuais atualmente estão sendo projetadas e construídas para geração de potência elétrica de mais de 5 MW. Um componente chave da maioria das turbinas de vento são suas caixas de transmissão, as quais estão sujeitas a um carregamento alto variável a baixas velocidades, e têm tempos de vida de projeto de 20 anos. Qualquer coisa que dê a estas caixas de transmissão mais durabilidade e eficiência é altamente

ambicionada por fabricantes e operadores de turbina de vento.

[004] Os geradores de turbina de vento grandes modernos (500 kW e maiores) são dispositivos maciços que usam comumente grandes sistemas de engrenagem planetária como o estágio de entrada. Estas caixas de transmissão pesadas, as quais são montadas no topo de torres altas, freqüentemente estão localizadas em locais remotos, tal como uma montanha ou em alto-mar, experimentam severas flutuações nas condições de vento e temperatura e freqüentemente estão expostas ao ambiente corrosivo da água do mar e/ou a partículas abrasivas. Uma falha de caixa de transmissão pode requerer a remoção da caixa de transmissão usando-se um equipamento gigantesco e a reconstrução dela de volta na instalação do fabricante, seguida pela reinstalação no local remoto. A perda concorrente de geração elétrica também é um evento dispendioso em si.

[005] Os fabricantes reconhecem que a remoção de asperezas de pico das superfícies de contato de dentes de engrenagem antes da plena operação no campo aumenta a vida em serviço da caixa de transmissão. Há duas vantagens óbvias na remoção de asperezas de pico. Em primeiro lugar, isso reduzirá a quantidade de contato de metal com metal, o qual produz resíduo de lubrificante e o qual é conhecido como sendo destrutivo para engrenagens e mancais. Em segundo lugar, ele melhora a relação de material ( $R_{mr}$ ) a qual é uma medida da quantidade de superfície de dente de engrenagem disponível para suporte da carga. A indústria assumiu que qualquer técnica para remoção de asperezas de pico era equivalente, desde que nenhum dano metalúrgico

óbvio e nenhuma alteração significativa para o avanço e a geometria de perfil ocorressem. Um acabamento final de engrenagem, por exemplo, com frequência é usado na indústria aeroespacial para redução de alturas de aspereza de pico. O acabamento final tem sido uma consideração para caixas de transmissão de turbina de vento, exceto pelo fato de que ele é de custo proibitivo nessas engrenagens grandes, já que a maioria do equipamento de acabamento final está limitada ao processamento de engrenagens tendo um diâmetro de 30,48 cm ou menos. Assim, as engrenagens de turbina de vento de hoje em dia tipicamente têm flancos de dentes retificados e são recomendadas para serem operadas através de um procedimento de amaciamento para remoção de asperezas de pico das superfícies de contato.

[006] Foi ensinado por vários anos que os benefícios de uma performance ótima para mancais são obtidos quando as superfícies de contato são ambas isotropicamente superacabadas para uma rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) de menos de aproximadamente 0,075 microns, usando-se um acabamento vibratório quimicamente acelerado.

[007] De modo similar, engrenagens em transmissões de corridas de automóveis, as quais operam sob altas cargas com altas velocidades de linha de passo, beneficiaram-se deste processo de superacabamento isotrópico com acabamentos de dentes de  $R_a$  de 0,3 microns a menos de 0,025 microns. Tais engrenagens superacabadas experimentam fadiga de contato, temperatura de operação, atrito, ruído e vibração reduzidos.

[008] O superacabamento permite o desenvolvimento de uma lubrificação hidrodinâmica (HL) ou uma lubrificação

elasto-hidrodinâmica (EHL). A HL existe quando há uma separação completa dos dentes de engrenagem combinados durante uma operação obtida por um filme lubrificante contínuo. A EHL existe em dentes de engrenagem combinados altamente carregados sob operação, quando a formação do filme de fluido de separação é influenciada por uma deformação elástica das superfícies de contato. Assim, com HL ou EHL durante sua operação à alta velocidade e alta carga, as transmissões de corridas de automóveis superacabadas experimentam quase nenhum contato de metal com metal dos dentes combinados.

[009] Em contraste agudo com as transmissões de corridas de automóveis, as engrenagens de estágio planetário de entrada usadas na indústria de geração de potência de turbina de vento operam sob condições significativamente diferentes. Em aplicações de turbina de vento, as engrenagens experimentam cargas variáveis muito altas em velocidades de linha de passo baixo de modo que uma lubrificação de camada limite ao invés da lubrificação hidrodinâmica (HL) elasto-hidrodinâmica (EHL) seja prevista. A lubrificação de camada limite existe quando os dentes de engrenagem combinados durante uma operação são umedecidos com um fluido, mas a espessura de filme lubrificante é menor do que a rugosidade superficial confinante combinada. Assim, o filme lubrificante pode ser penetrado por asperezas de pico e um contato de metal com metal gera um resíduo de metal dos dentes de engrenagem. Os dentes de engrenagem de turbina de vento retificados tradicionalmente fabricados (veja "Standard for Design and Specification de Gear Boxes for Wind Turbines",

ANSI/AGMA/AWEA 6006-A03) após o processo de amaciamento descrito abaixo, são acabadas finalmente para a obtenção de um acabamento superficial de  $R_a = 0,5$  a  $0,7$  microns. Contudo, aqueles versados na técnica reconhecem que uma roda oca tradicionalmente fabricada terá um acabamento superficial muito mais alto. É recomendado pela norma da AGMA que este acabamento de engrenagem não exceda a  $R_a > 1,6$  microns. Os acabamentos de  $0,5$  a  $0,7$  microns são considerados suficientes para se evitar a maior parte do contato de metal com metal de flanco. Também se acreditava que esta condição superficial resultaria em uma retenção de lubrificante significativa necessária com dentes de engrenagem de movimento lento e, assim, a melhora condição de lubrificação possível seria obtida. Contudo, uma fonte principal de falha de caixa de transmissão de turbina de vento é uma falha dos mancais. Mesmo com uma obtenção de amaciamento dos acabamentos acima, o contato de metal com metal de dentes continua nos dentes de estágio de engrenagem planetária e produz resíduo de lubrificante, o qual, por sua vez, contribui para as rápidas falhas de mancal.

[010] Em contraste, um superacabamento vibratório quimicamente acelerado para uma condição de  $R_a < 0,3$  microns foi ensinado como sendo liso demais para geradores de turbina de vento grandes pelo fato de os flancos de dente terem retenção de lubrificação insuficiente para operação e uma falha de dente foi prevista. Assim, era questionável se um superacabamento usando um acabamento vibratório quimicamente acelerado do estágio planetário de entrada acrescentaria qualquer valor de performance à caixa de

transmissão. Apenas testes de campo extensos e caros poderiam prover a resposta.

[011] Além disso, foi ensinado por aqueles versados na técnica que engrenagens pesadas grandes que constituem um estágio planetário de entrada de um gerador de turbina de vento grande poderiam não ser processadas no equipamento de acabamento vibratório usado no processo de acabamento vibratório quimicamente acelerado. Este equipamento de acabamento vibratório é em forma de vaso ou cuba. As engrenagens de estágio planetário de entrada tipicamente são de 200 kg ou mais para geradores de uma capacidade de saída de 500 kW ou maiores. Este peso de engrenagem foi ensinado como estando além da faixa normal de operação para o equipamento de acabamento vibratório.

[012] Em particular, foi ensinado que uma roda de engrenagem oca grande (anel de engrenagem) pesando de 400 kg a mais de 5000 kg não poderia ser superacabada em um grande vaso vibratório. Uma pessoa versada na técnica teria predito que uma engrenagem tão maciça como essa com área de seção transversal relativamente pequena teria afundado imediatamente para o fundo do vaso, danificando o revestimento, a engrenagem ou ambos. Além disso, teria sido esperado que a engrenagem pesada fraturasse quantidades significativas do meio cerâmico usado no equipamento de acabamento vibratório por causa da alta pressão exercida sobre o meio. Os cacos produzidos pelo esmagamento do meio cerâmico teriam pontas e bordas agudas. Ao invés de suavização das superfícies de contato críticas dos dentes de engrenagem para uma condição superacabada, teria sido predito que estes fragmentos de meio danificariam estas

superfícies resultando em uma superfície rugosa, goivada e mesmo na formação de reentrâncias nas superfícies, especialmente próximo do fundo do vaso onde a pressão é maior. O dano teria sido significativamente aumentado para rodas de engrenagem ocas endurecidas de fora a fora mais macias (32 a 40 HRC). A taxa alta antecipada de atrito de meio da fraturação também acrescentaria um custo de processamento inaceitável, bem como causaria problemas de entupimento e bloqueio dos drenos da máquina de processamento.

[013] Adicionalmente, no processamento da roda oca, teria sido esperado que houvesse uma variância na intensidade de pressão de meio através do avanço dos dentes de engrenagem. A pressão do meio sobre os dentes de engrenagem próximo do fundo do vaso é maior do que a pressão do meio próximo do topo. Como resultado, seria esperado que mais matéria-prima fosse removida dos dentes de engrenagem próximo do fundo do que próximo do topo. Portanto, a roda de engrenagem oca processada de forma vibratória poderia terminar estando fora da tolerância dimensional. Isso poderia ser mitigado parcialmente pela remoção da engrenagem na metade do processo, virando-a, retornando-a para o vaso e continuando-se o processo. Deve ser mencionado, contudo, que virar uma engrenagem grande como essa consome tempo e é potencialmente perigoso. Também, parte da largura do centro dos dentes de engrenagem seria processada por duas vezes o tempo de acabamento, possivelmente causando uma mudança resultante na geometria de dentes. Cada um dos inconvenientes preditos acima teria sido predito para tornar este processo de superacabamento

para grandes rodas de engrenagem ocas comercialmente impraticável e imprevisível.

[014] Inconvenientes similares teriam sido esperados para o acabamento vibratório quimicamente acelerado das outras engrenagens que constituem o estágio planetário de entrada de uma caixa de transmissão de turbina de vento. Estas engrenagens, conhecidas como planetas e pinhões sóis, são maciças, de modo similar, tipicamente pesando mais de 200 kg cada. Assim, aqueles versados na técnica teriam predito que elas não poderiam ser processadas em um equipamento de acabamento vibratório, sejam vasos ou cubas. Portanto, a indústria de turbina de vento não poderia concretizar os benefícios deste processo de superacabamento para o estágio planetário de entrada da caixa de transmissão.

[015] Deve ser notado que é desejável se ser capaz de usar rodas de engrenagem ocas endurecidas de fora a fora ao invés de rodas ocas com gás nitretado ou gás carburizado no estágio de engrenagem planetária de entrada grande. As rodas ocas endurecidas de fora a fora são menos dispendiosas de se fabricar.

[016] A nitretação com gás é dispendiosa, consome tempo e produz uma "camada branca" frágil muito dura nas superfícies de dentes. Aqueles versados na técnica reconhecem que esta camada branca deve ser removida antes do uso da engrenagem. Contudo, a remoção da camada branca por retificação é a um grande custo e com risco de arruinar a roda oca. Uma remoção alternativa da camada branca por dissolução química é um processo com muito risco e ambientalmente não amigável.

[017] Na carburização de gás, devido à distorção significativa do processo de tratamento térmico, uma retificação final dos dentes é requerida, o que também é um processo dispendioso. Mais ainda, após a retificação final, a roda oca com gás carburizado requer uma inspeção de consumo de revenido, um outro processo com risco e ambientalmente não amigável.

[018] Adicionalmente, as rodas ocas endurecidas de fora a fora não apenas são menos dispendiosas de se fabricar, elas também são geometricamente mais acuradas quando comparadas com rocas ocas nitretadas ou carburizadas. Isso é muito benéfico pelo fato de as engrenagens remanescentes do conjunto de engrenagens planetárias serem rotineiramente fabricadas para uma alta acurácia geométrica. Assim, se uma roda oca endurecida de fora a fora menos dispendiosa e mais acurada pudesse ser operada com engrenagens planetas e sóis de alta acurácia, o conjunto de engrenagens planetárias resultante poderia ser altamente eficiente e de durabilidade suficiente. Se a roda oca endurecida de fora a fora pudesse ser superacabada usando-se um acabamento vibratório quimicamente acelerado, seus dentes seriam de capacidade superficial suficiente e capazes de operarem em regimes de HL ou EHL, desse modo se reduzindo a geração de resíduo. Assim, se rodas ocas endurecidas de fora a fora superacabadas combinadas com engrenagens planetas e sóis superacabadas pudessem operar satisfatoriamente nas cargas e velocidades projetadas de uma turbina de vento, o resultado seria um estágio de engrenagem planetária de entrada superior. Alternativamente, se as engrenagens planetas e pinhões sóis pudessem ser superacabadas e

combinadas com uma roda oca não superacabada, independentemente de seu tratamento térmico metalúrgico, o resultado seria um estágio de engrenagem planetária de entrada melhorado para um gerador de turbina de vento de capacidade de saída de 500 kW ou maior. Portanto, o superacabamento de algumas ou preferencialmente todas as engrenagens do estágio planetário de entrada resultaria em uma redução ou na eliminação de resíduo de lubrificação dos dentes de engrenagem, desse modo se reduzindo ou eliminando uma fonte de danos às engrenagens.

[019] Na realidade, os fabricantes de caixas de transmissão para grandes geradores de potência de turbina de vento tinham apenas uma escolha viável para redução de asperezas de pico após a retificação, e esta foi o processo de amaciamento. No processo de amaciamento, as engrenagens são alisadas no estado montado pela operação das caixas de transmissão sob várias cargas e velocidades, de modo que as asperezas de pico de área de contato fossem cisalhadas ou se deformassem plasticamente. Deve ser mencionado que esta também era a rota mais econômica para e tomar a caixa de transmissão como estava para ser testada e certificada sob condições de carga de qualquer forma antes de sua remessa e instalação no seu destino final. A fase de amaciamento e teste pode ser conduzida simultaneamente na mesma sonda de teste. A AGMA/AWEA e a Agência de Energia Dinamarquesa, por exemplo, têm recomendações por escrito para projeto de caixas de transmissão de turbina de vento e tensões necessárias para amaciamento. O impacto de acabamento superficial sobre a durabilidade do dente de engrenagem é brevemente discutido, mas a metodologia de alisamento da

superfície não recebe qualquer consideração. Esta visão, que o método de remoção das asperezas de pico é irrelevante, geralmente é compartilhada pela indústria, bem como por outros fabricantes de engrenagem.

[020] Um processo de amaciamento ideal requer uma operação da caixa de transmissão em cargas e velocidades diferentes para se simularem condições de campo reais, de modo a se suavizarem os picos de aspereza através da superfície de suporte de carga inteira. Contudo, uma duplicação das condições de serviço reais em uma sonda de teste não apenas é virtualmente impossível, mas, também, é impraticável devido a restrições de equipamento, tempo e custo. Durante o processo de amaciamento, a espessura de filme de óleo com frequência é propositadamente reduzida para se permitir mais contato de pico de aspereza, desse modo resultando em uma superfície mais lisa. Uma vez que o processo de amaciamento seja completado, o sistema de lubrificante e filtração de amaciamento de caixa de transmissão deve sofrer um serviço. Tipicamente, o lubrificante é drenado, a caixa de transmissão lavada, e substituído por um lubrificante novo, e o filtro, o qual captura os resíduos de metal gerados durante o processo de amaciamento, é limpo ou substituído. Infelizmente, mesmo durante um amaciamento, este resíduo de metal pode iniciar sérios danos aos mancais e às superfícies de contato de engrenagem, antes da coleta em um filtro. E a maioria dos filtros é capaz de capturar apenas as partículas de resíduo maiores e permite a passagem de partículas mais finas. Estas partículas finas ainda são capazes de causarem danos

superficiais, particularmente aos mancais de caixa de transmissão.

[021] Também, não importando quão completa ou cuidadosamente o procedimento de amaciamento é conduzido, este processo deixa um problema de material microscópico (concentradores de tensão) nas regiões de contato de dentes de engrenagem, devido às altas tensões criadas para mecanicamente cisalharem, fraturarem ou elasticamente deformarem as asperezas de pico. Estes concentradores de tensão atuam como locais de iniciação para futuras falhas por fadiga de contato ou formação de microcavidades.

[022] Conseqüentemente, mesmo após um amaciamento, as engrenagens planetárias de entrada freqüentemente experimentam a formação de microcavidades durante o período inicial de serviço no campo. A formação de microcavidades em si é uma outra fonte de resíduo de metal, a qual pode causar danos adicionais aos mancais e às superfícies de contato de engrenagem, uma vez que o resíduo de metal não é imediata ou completamente aprisionado pelo sistema de filtração. Deve ser destacado que mesmo partículas microscópicas de resíduo de metal, as quais podem passar através de um filtro de 10 microns, ainda são grandes o bastante para iniciarem danos. A formação de microcavidades é reconhecida como sendo um indicador de possível falha futura de engrenagem e/ou sérios problemas de desgaste. Sempre que um desgaste severo corre, o perfil de dente de engrenagem é mudado, levando a uma vibração aumentada e a ruído, o que impõe uma tensão elevada sobre o sistema de caixa de transmissão.

[023] Adicionalmente, os procedimentos de amaciamento tipicamente apenas alisam o lado de acionamento da roda oca e da engrenagem sol, enquanto deixam os lados traseiros destes dentes de engrenagem como usinados. Durante condições de operação adversas, tais como fortes rajadas de vento ou uma frenagem de turbina, o carregamento no lado traseiro pode ser alto o bastante para a produção de um contato com aspereza e contribuir para um resíduo de metal nocivo. Contudo, as engrenagens superacabadas por vibração quimicamente acelerada são alisadas em ambos os lados das superfícies de dente de contato.

[024] Novamente, precisa ser enfatizado que a indústria falhou em dar guias sobre o acabamento superficial ótimo real, ou sobre o método de geração dessas superfícies ótimas para melhoria da durabilidade da caixa de transmissão. Ao invés disso, ela tem se baseado principalmente em procedimentos de amaciamento para alisamento das áreas de contato de dentes de engrenagem para o que se acreditava ser uma condição satisfatória.

#### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

[025] É mostrado aqui um sistema de engrenagem planetária grande melhorado usado no estágio de entrada de geradores de potência de turbina de vento. Este sistema de engrenagem planetária melhorado reduz ou elimina o resíduo de lubrificante tradicionalmente gerado a partir de dentes de engrenagem, desse modo eliminando uma fonte de iniciação para falha de mancal. Para se atingirem estes resultados, alguns e preferencialmente todos os dentes de engrenagem no sistema de engrenagem planetária são superacabados, usando-se um acabamento vibratório quimicamente acelerado para uma

rugosidade superficial de aproximadamente 0,25 micron ou menos.

[026] Em particular, um novo método é mostrado para superacabamento da roda de engrenagem oca maciça, especialmente uma roda de engrenagem oca endurecida de fora a fora, posicionada horizontalmente em um vaso vibratório.

[027] Será apreciado que os ensinamentos inventivos mostrados aqui são úteis para todas as outras aplicações de grandes conjuntos de engrenagem planetária. De modo similar, os ensinamentos desta invenção são aplicáveis a algumas ou a todas as engrenagens de outros tipos de caixa de transmissão não planetária grandes, onde os regimes de lubrificação de camada limite existem devido a acabamentos de dentes tradicionalmente retificados. O estilo de engrenagens nestas caixas de transmissão, tal como cilíndricas, helicoidais, de face, biseladas, e similares, não é importante para o conceito inventivo mostrado aqui.

[028] Será prontamente evidente para aqueles versados nesta técnica que várias modificações e mudanças de uma natureza óbvia podem ser feitas, e todas estas modificações e mudanças são consideradas como caindo no escopo das reivindicações. Outras modalidades da invenção serão evidentes para aqueles versados na técnica, a partir de uma consideração do relatório descritivo e da prática da invenção mostrada aqui. Os exemplos são superacabamento de todas as engrenagens e/ou de todos os mancais nestes tipos de grandes caixas de transmissão. Assim, não se pretende que as modalidades específicas descritas aqui sejam limitantes, mas meramente ilustrativas do método inventivo.

[029] O recurso único e significativo do processo usado na presente invenção é o mecanismo de nivelamento superficial utilizado para a obtenção do acabamento superficial. Uma solução química é usada no vaso vibratório ou na cuba em conjunto com um meio cerâmico. Quando introduzida na máquina, esta solução química reage com o metal e produz um revestimento de conversão macio e estável através das asperezas (picos e vales) dos dentes de engrenagem. O movimento de esfregação através dos flancos dos dentes de engrenagem desenvolvido pela máquina e pelo meio efetivamente esfrega o revestimento de conversão para fora dos "picos" das superfícies, mas deixa os "vales" intocados. O revestimento de conversão é continuamente reformado e esfregado durante este estágio, produzindo um mecanismo de nivelamento de superfície. Este mecanismo é continuado na máquina vibratória até o acabamento superficial desejado ser obtido. Neste ponto, o produto químico ativo é desativado e é tipicamente lavado da superfície com uma solução de brunidura, a qual não reage com o metal de base. Durante este estágio, o revestimento de conversão é esfregado dos flancos de dentes de engrenagem uma vez final, para a produção das engrenagens acabadas para o estágio de engrenagem planetária de entrada. E, finalmente, uma vez que o processo é à base de água, aproximadamente à temperatura ambiente e em uma atmosfera aberta, não há chance de revenido da engrenagem com um acabamento vibratório quimicamente acelerado. Assim, uma inspeção de consumo de revenido não é requerida após um superacabamento com a presente invenção.

[030] Uma vez que os picos de aspereza são removidos antes da instalação, nenhuma microtensão é introduzida, tal como no procedimento de alisamento de amaciamento convencional. De fato, a necessidade de amaciamento é grandemente reduzida ou completamente eliminada. Assim, os problemas de formação de microcavidade e atrito acelerado por vibrações diferenciais na interface das superfícies de engrenagem são reduzidos ou eliminados. Também, as engrenagens acabadas com a presente invenção não geram um resíduo de metal significativo na partida ou após estarem em serviço por longos períodos e, assim, se evitam danos de resíduo de metal aos mancais. Isso também permite um tempo mais longo entre os serviços de lubrificação. Uma vez que o alisamento das superfícies também reduz o atrito, as engrenagens não contribuem para o pico de temperatura súbito típico responsável pela vida reduzida do lubrificante, de mancais e selos. Também se espera que ruído e vibração sejam reduzidos por duas razões. Em primeiro lugar, uma redução de atrito efetuará uma vibração e um ruído reduzidos. Em segundo lugar, uma redução no desgaste significa que o erro de transmissão ficará mais constante com o tempo e, portanto, o ruído também não aumentará.

[031] Antes desta invenção, as tentativas de melhoria da durabilidade de caixas de transmissão de gerador de potência de turbina de vento foram obtidas pela retificação superficial dos dentes de engrenagem seguida por um amaciamento, por meio do que a caixa de transmissão era operada sob cargas e velocidades variáveis. O amaciamento pode remover as asperezas de pico de algumas das

superfícies confrontantes de dente de engrenagem, mas também tem várias deficiências sérias, como discutido acima, quando comparado com a presente invenção. Assim sendo, vários objetivos e vantagens da presente invenção em relação à retificação de dentes e ao processo de amaciamento aplicável a geradores de potência de turbina de vento tendo uma capacidade de potência de saída individual de 500 kW ou mais são:

1. prover um estágio planetário de entrada melhorado tendo os flancos de dentes inteiros superacabados, o que reduz ou elimina os danos de resíduo de metal gerado pelas engrenagens durante o amaciamento ou durante um serviço real;

2. prover um estágio planetário melhorado com resíduo de metal significativamente reduzido ou eliminado normalmente gerado a partir dos dentes de engrenagem, desse modo se reduzindo ou eliminando uma fonte de iniciação para falha de mancal;

3. prover um método prático e efetivo em termos de custos de superacabamento das grandes rodas de engrenagem ocas, especialmente rodas ocas endurecidas de fora a fora de alta acurácia geométrica, usando-se um acabamento vibratório quimicamente acelerado para uma superfície superior tendo um  $R_a$  menor, um  $R_{mr}$  aumentado e uma redução significativamente de concentrações de tensão;

4. prover um estágio planetário de entrada melhorado, uma vez que agora alguns e preferencialmente todos os flancos de engrenagem de uma engrenagem de qualquer estilo de 200 kg e maior podem ser superacabados

para um  $R_a$  de 0,25 micron ou menos, enquanto se mantêm tolerâncias dimensionais;

5. prover um estágio planetário de entrada melhorado com formação de microcavidade e atrito acelerado por vibrações diferenciais na interface significativamente reduzidos, o que pode levar a uma futura formação de macrocavidade, desgaste e, finalmente, a uma falha dos dentes e dos mancais;

6. prover um método o qual simultaneamente superacabe os lados de acionamento e traseiro de todas as engrenagens e, particularmente, dos dentes de roda oca e de engrenagem sol novamente reduzindo ou eliminando o potencial para um resíduo de metal nocivo;

7. prover um estágio planetário de entrada melhorado com um pico de temperatura significativamente reduzido, o qual pode ser danoso para a metalurgia, o lubrificante e os selos durante o amaciamento ou uma operação inicial no campo;

8. prover um estágio planetário de entrada melhorado com vibração significativamente reduzida e/ou ruído causado por atrito e/ou mudanças de perfil de dente devido a desgaste;

9. prover um estágio planetário de entrada melhorado tendo engrenagens com uma relação de material aumentada ( $R_{mr}$ ) nas superfícies de dentes de contato permitindo uma maior densidade de potência;

10. prover um estágio planetário de entrada que permite uma otimização ou a eliminação do processo de amaciamento;

11. prover um processo que não requer uma inspeção de consumo de revenido após as engrenagens serem superacabadas;

12. prover um processo de acabamento vibratório quimicamente acelerado aplicável a engrenagens de todos os estilos de 200 kg e maiores em todos os tipos de caixas de transmissão que operam em regimes de lubrificação de camada limite de modo que o superacabamento reduza ou elimine o resíduo de lubrificante; e

13. prover uma caixa de transmissão grande melhorada onde algumas ou preferencialmente todas as engrenagens e/ou os mancais são superacabados para a redução ou a eliminação de resíduo de lubrificante.

[032] Outros objetivos e vantagens tornar-se-ão evidentes a partir de uma consideração da descrição a seguir e dos desenhos.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

A Fig. 1 é um desenho da seção transversal de uma caixa de transmissão planetária com três engrenagens planetas.

A Fig. 2a é um desenho de um dente de engrenagem ilustrando a área de contato de dente.

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

A Fig. 3 é um desenho do vaso vibratório contendo o meio usado para o superacabamento da roda de engrenagem oca;

A Fig. 4 é um desenho do vaso vibratório que ilustra a posição ideal para a roda de engrenagem oca durante o processo de superacabamento.

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

À Fig. 6 estão os parâmetros de superfície e o perfil medidos em um flanco usinado / retificado típico de um dente de roda de engrenagem oca.

À Fig. 7 estão os parâmetros de superfície e o perfil medidos em um flanco superacabado típico de um dente de roda de engrenagem oca usando-se a presente invenção.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[033] A Figura 1 é um desenho de um estágio planetário de entrada tipicamente usado em caixas de transmissão de turbina de vento. Ele consiste em uma roda de engrenagem oca (1), duas ou mais engrenagens planetas (2) e uma engrenagem sol (3). Os dentes (4) de cada engrenagem são para serem superacabados. A Figura 2a é uma vista tridimensional de um dente de engrenagem único (4) e a Figura 2b mostra uma seção transversal bidimensional de dois dentes de engrenagem (4). O dente de engrenagem (4) consiste no flanco (5), o qual é o lado de trabalho ou de contato do dente de engrenagem, o apoio de topo (6), o qual é a superfície de topo do dente de engrenagem, o apoio de fundo (7), o qual é a superfície no fundo do espaço entre dentes adjacentes, e o filete de raiz (8), o qual é a porção arredondada na base do dente de engrenagem entre o flanco de dente (5) e o apoio de fundo (7). A área mais crítica é o padrão de contato de dente (9), o qual é a área superficial de um dente de engrenagem a qual esteve em contato com seu par quando as engrenagens estão em compressor. Na presente invenção, uma ou mais das

engrenagens planetárias de uma caixa de transmissão de turbina de vento incluindo o sol (3), os planetas (2) e a roda de engrenagem oca (1) são superacabados nos seus lados de acionamento e traseiro usando-se um acabamento quimicamente acelerado em um vaso vibratório ou cuba para um  $R_a$  de 0,25 micrometro ou menos.

#### **Descrição Geral do Processo de Superacabamento**

[034] Uma descrição geral do processo de superacabamento se segue com as Patentes U.S. Nº 4.491.500 e 4.818.333 comumente possuídas e os Pedidos de Patente U.S. Nº 10/071.533, 09/758.067 e 10/684.073, cada um dos quais sendo incorporado aqui como referência. Um produto químico ativo é introduzido no aparelho de acabamento vibratório que é capaz de converter o metal da engrenagem para uma composição de um filme de dureza reduzido que é física e quimicamente estável e pode ou não ser visualmente perceptível. Este filme é conhecido como um revestimento de conversão. Quando este filme é desenvolvido na superfície da engrenagem, a ação dos elementos de meio sobre a engrenagem apenas removerá o filme dos picos de aspereza da engrenagem, deixando as áreas em depressão do revestimento intactas. Pelo umedecimento constante da superfície de metal com o produto químico ativo, o revestimento estável continuamente será reformado, cobrindo aquelas áreas em que o metal subjacente nu estava recentemente exposto, para a provisão de uma nova camada de filme relativamente macio. Se aquela porção permanecer mais alta do que as áreas adjacentes, ela continuará a ser esfregada até qualquer rugosidade ter sido virtualmente eliminada.

[035] A quantidade de solução de produto químico ativo utilizada será apenas aquela a qual manterá todas as superfícies das partes tratadas em uma condição umedecida, de modo a se garantir uma reformação contínua e virtualmente instantânea de qualquer revestimento removido através da ação de esfregação. Como será evidente para aqueles versados na técnica, a quantidade de qualquer meio utilizado dependerá de numerosos fatores, tais como o caráter da superfície, a área, o peso e a composição das engrenagens sendo tratadas, a composição da solução utilizada para o revestimento de conversão, as temperaturas de operação, o grau e a taxa de refinamento a serem obtidos, etc.

[036] 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 do produto químico ativo utilizado para a produção do revestimento não o é. A composição deve ser capaz de rápida e efetivamente produzir, sob as condições de operação, produtos de reação relativamente macios do metal de base e o revestimento deve ser substancialmente insolúvel no meio líquido, de modo a se garantir que a remoção ocorra primariamente por esfregação, ao invés de por dissolução. O produto químico ativo geralmente consistirá em água e até cerca de 40 por cento em peso de ingredientes ativos, compreendidos essencialmente pelos produtos químicos de conversão, mas também, de forma opcional e desejável incluindo um agente de oxidação e, em alguns casos, um estabilizante e/ou um agente de umedecimento. Após a quantidade desejada de refinamento ser

atingida, o produto químico ativo é interrompido. Após isso, uma solução de brunidura pode ser introduzida na máquina vibratória. A solução de brunidura, a qual é não reativa com o metal de base, serve para a remoção do revestimento de conversão da superfície para a criação de uma aparência especular.

### **Superacabamento dos Planetas e das Engrenagens Sóis**

[037] Em uma modalidade da presente invenção, a engrenagem sol e as engrenagens planetas podem ser superacabadas em máquinas de cuba ou vaso vibratório dimensionadas adequadamente. Múltiplas engrenagens com suporte adequado podem ser superacabadas simultaneamente. Um dispositivo pode ser usado para suporte das engrenagens ou para se evitar que as engrenagens contatem os lados do vaso vibratório ou da cuba durante uma operação. As engrenagens são rapidamente agitadas para a produção de um movimento relativo dentre as engrenagens e o meio cerâmico não abrasivo. As superfícies das engrenagens e o meio são mantidos em uma condição úmida com uma solução aquosa de FERROMIL® FML-590 a 30 %v/v. Os elementos de meio sólido não abrasivos são de uma quantidade, um tamanho e um formato tais que, sob as condições de agitação, produzam uma esfregação de meio uniforme dos dentes de engrenagem. O processo é continuado até o valor de rugosidade de média aritmética ( $R_a$ ) ser de 0,25 micron ou menos. As engrenagens então são brunidas para a remoção do revestimento de conversão, usando-se uma solução aquosa de FERROMIL® FML-295 a 1,5 %v/v para uma aparência especular.

[038] Embora a modalidade preferida contemple o uso de um meio cerâmico não abrasivo, outros meios cerâmicos,

meios plásticos, meios de aço, meios de aço inoxidável e combinações de diferentes tipos de mídia também podem ser usados, dependendo das circunstâncias físicas que circundam o acabamento da engrenagem. Está nos conhecimentos de alguém versado na técnica determinar quais meios ou combinação de meios usar em cada caso.

### **Superacabamento da Roda de Engrenagem Oca**

[039] Este exemplo ensina uma modalidade para superacabamento de uma roda de engrenagem oca grande (1) adequada para caixas de transmissão de turbina de vento comerciais de capacidade de potência de saída de 500 kW ou mais. A roda de engrenagem oca (1) tem as dimensões aproximadas de peso e altura a seguir. Ela pesa 1.620 kg, tem um diâmetro externo de 171 cm, um diâmetro interno de 146 cm, e uma largura de face de 38,5 cm. A roda oca pode ser tratada termicamente através de carburização de gás, nitretação de gás, ou ela pode ser endurecida de fora a fora. Na Figura 3, um vaso vibratório (10) é preenchido para aproximadamente dois terços de seu volume com uma mistura de meios cerâmicos abrasivos e não abrasivos (11). O tamanho e os formatos do meio são selecionados de modo que uma mistura homogênea de meio tenha um contato uniforme através do flanco de dente de engrenagem. A quantidade de meio também é escolhida para dar a quantidade preferida de ação de sustentação durante um processamento, de modo que a engrenagem não contate o fundo ou os lados do canal de vaso vibratório, ou de modo que o topo da engrenagem não suba acima do nível de meio de trabalho. Os pesos motores são regulados para um ângulo de ataque de aproximadamente 85 graus.

[040] A roda de engrenagem oca (1) é depositada horizontalmente sobre o cubo central (12) do vaso vibratório (10) sobre uma massa de meio estacionária (11), tomando-se cuidado razoável para centralizar a roda de engrenagem oca em relação ao centro do vaso. Como ilustrado na Figura 5, uma solução aquosa de FERROMIL® FML-295 a 1,5 %v/v com uma vazão de 20 L/h é enviada para a região entre a parede externa do vaso e a superfície externa da engrenagem (13), para redução dos efeitos de geração de calor por atrito. Uma solução aquosa de produto químico ativo consistindo em FERROMIL® FML-590 a 30 %v/v é enviada a 18 L/h para a região entre o cubo central (12) e os dentes de engrenagem internos (14).

[041] O vaso vibratório (10) é iniciado a uma frequência baixa e é gradualmente aumentado para aproximadamente de 46 a 48 Hz, por meio do que a roda de engrenagem oca se deposita no meio (11). A posição ideal é mostrada na Figura 4, onde a parte mais superior da engrenagem (1) está na ou imediatamente abaixo da interface de meio (11) e ar. Se a amplitude de vaso vibratório não estiver entre 1,5 e 2,0 mm, ajustes devem ser feitos no peso inferior para se atingir esta amplitude. Esta medição é lida a partir de um medidor de amplitude montado no exterior do vaso (10). A roda de engrenagem oca (1) permanecerá centralizada durante o restante do processamento e girará lentamente em torno do cubo central do vaso vibratório (12).

[042] Os parâmetros a seguir podem ser ajustados, como necessário, de modo a se manter a engrenagem (1) na ou imediatamente abaixo da superfície superior do meio (11),

de modo que ela gire uniformemente em torno do cubo central (12) do vaso vibratório (10):

Tamanho de meios, formato, composição e percentagem de cada um.

Nível de meio.

Frequência do motor.

Amplitude e ângulo de ataque gerado pelo sistema de peso ajustável.

Concentrações e vazões de produto químico ativo e soluções de brunidura.

[043] O ajuste destes parâmetros está no conhecimento de alguém de habilidade comum na técnica.

[044] O processo é continuado até o valor de valor de rugosidade de média aritmética ( $R_a$ ) ser de 0,25 micron ou menos. O fluxo de produto químico ativo é interrompido, e um composto de brunidura consistindo em uma solução aquosa de FERROMIL® FML-295 a 1,5 %v/v é enviado a 150 L/h para a região entre a coluna central do vaso e os dentes da engrenagem (15). O processo é continuado até o revestimento de conversão ser removido, produzindo uma aparência limpa e brilhante.

[045] Os resultados não antecipados que foram obtidos são:

[046] A engrenagem permanece centralizada no vaso e é suspensa do fundo do vaso pelo movimento do meio, e a parte mais superior da engrenagem permanece na ou imediatamente abaixo da interface de meio / ar.

[047] A engrenagem é superacabada sem danos do meio ou de cacos de meio.

[048] Um  $R_a$  de 0,25 micron ou menos é obtido, e a

relação de material é significativamente aumentada.

[049] A Figura 6 mostra um perfil de rugosidade superficial típico da área de contato de engrenagem antes do superacabamento. O  $R_a$  é de 0,78 microm e o  $R_{mr}$  é de 49,4%.

[050] A Figura 7 mostra um perfil de rugosidade superficial típico da área de contato de engrenagem antes do superacabamento. O  $R_a$  é de 0,16 microm e o  $R_{mr}$  é de 73,2%.

[051] O acabamento superficial é uniforme, dentro das tolerâncias, através do avanço e do perfil.

[052] Apenas uma quantidade insignificante, se houver, de meio é fraturada pelo processo (isto é, o atrito de meio foi extremamente baixo).

#### **Testes de Planetário no Campo**

[053] Duas caixas de transmissão de turbina de vento tendo uma capacidade de potência de saída de mais de 500 kW tiveram todas as engrenagens do estágio planetário de entrada superacabadas para uma rugosidade superficial de 0,25 microns ou menos, usando-se o processo descrito na presente invenção. Antes do superacabamento, as rodas ocas foram endurecidas de fora a fora, e os planetas e as engrenagens sóis foram carburizadas com gás. Após serem colocadas em serviço, as caixas de transmissão foram inspecionadas após aproximadamente 6 meses e após aproximadamente um ano de operação. Nenhuma formação de microcavidade ou um atrito acelerado por vibrações diferenciais na interface foi observado nas superfícies de dentes de engrenagem. De modo similar, nenhum dano a mancal foi encontrado. Em comparação, engrenagens retificadas

alisadas apenas pela técnica de amaciamento comumente podem começar a apresentar sinais de formação de microcavidade ou um atrito acelerado por vibrações diferenciais na interface após apenas 6 meses de operação, e os mancais começam a mostrar danos através de uma inspeção direta ou por monitoração de ruído / vibração. Outras vantagens antecipadas da presente invenção incluem resíduo de metal reduzido, vida melhorada do mancal, desgaste reduzido, vibração e ruído reduzidos, resistência à fadiga de contato melhorada, lubrificação melhorada, tempo aumentado entre execução de serviços de lubrificante, um processo de amaciamento simplificado ou eliminado, e durabilidade melhorada, eficiência e custo de fabricação e operação reduzido da caixa de transmissão planetária.

[054] Embora os aparelhos e métodos da presente invenção tenham sido descritos em termos de modalidades preferidas, será evidente para aqueles de conhecimento na técnica que variações podem ser aplicadas ao que foi descrito aqui, sem se desviar do conceito e do escopo da invenção. Todos estes substitutos similares e modificações evidentes para aqueles versados na técnica são julgados como estando no escopo e no conceito da invenção, em particular a aplicabilidade deste processo de acabamento a qualquer tipo de engrenagem, qualquer tipo de sistema de engrenagem planetária grande, não apenas àqueles envolvidos na indústria de turbina de vento, e qualquer tipo de caixa de transmissão grande tendo engrenagens individuais de mais de 200 kg, que operam em regimes de lubrificação de camada limite. Tais exemplos de outras indústrias nas quais esta tecnologia será útil estão nas indústrias de propulsão

marinha e movimento de terra, nas indústrias de mineração, bem como qualquer outra indústria que empregue o uso de grandes sistemas de engrenagem.

## REIVINDICAÇÕES

1. Caixa de transmissão planetária de estágio de entrada para um gerador de turbina de vento grande, **caracterizada** pelo fato de que compreende uma roda de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas e uma engrenagem sol, onde uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas e a engrenagem sol compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial final (Ra) de 0,25 microns ou menos.

2. Caixa de transmissão planetária, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que os dentes de uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e a engrenagem sol são superacabados para uma rugosidade superficial final (Ra) de cerca de 0,16 microns.

3. Caixa de transmissão planetária, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, **caracterizada** pelo fato de a caixa de transmissão planetária compreender uma caixa de transmissão planetária tirada de um gerador de potência de turbina de vento que possui uma capacidade de saída de 500 kW ou maior.

4. Caixa de transmissão planetária, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizada** pelo fato de antes do superacabamento para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 microns ou menos, uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e a engrenagem sol são tratadas termicamente por um método selecionado a partir do grupo que consiste em carburização de gás, nitretação de gás e endurecimento de fora a fora.

5. Caixa de transmissão planetária, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de cada uma das rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas e a engrenagem sol compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetas e a engrenagem sol compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos, ou em que cada uma das duas ou mais engrenagens planetas compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos, ou em que o lado de acionamento da pluralidade de dentes tenha sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos, ou onde o lado traseiro da pluralidade de dentes tenha sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos.

6. Engrenagem de transmissão planetária de estágio de entrada para um gerador de turbina de vento grande, **caracterizada** pelo fato de que possui uma massa de mais de 200 kg que compreende uma pluralidade de dentes superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos.

7. Engrenagem, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizada** pelo fato de o lado de acionamento da pluralidade de dentes ter sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos, e onde o lado traseiro da pluralidade de dentes ter sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25 µm ou menos.

8. Engrenagem, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizada** pelo fato de o lado de acionamento da pluralidade de dentes ter sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos.

9. Método para a redução de resíduo de lubrificante em uma caixa de transmissão planetária de estágio de entrada para um gerador de turbina de vento grande, **caracterizado** pelo fato de que a caixa de transmissão planetária compreende uma roda de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e uma engrenagem sol, sendo que o método compreende o superacabamento dos dentes de uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e uma engrenagem sol para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos antes operar a caixa de transmissão planetária.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e uma engrenagem sol serem superacabadas usando um acabamento quimicamente acelerado.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 ou 10, **caracterizado** pelo fato de que antes do superacabamento para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos, uma ou mais rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas, e a engrenagem sol são tratadas termicamente por um método selecionado a partir do grupo que consiste em carburização de gás, nitretação de gás e endurecimento de fora a fora.

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 11, **caracterizado** pelo fato de que cada

uma das rodas de engrenagem oca, duas ou mais engrenagens planetas e a engrenagem sol compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos, ou onde cada uma das duas ou mais engrenagens planetas e a engrenagem sol compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos, ou onde cada uma das duas ou mais engrenagens planetas compreendem uma pluralidade de dentes que foram superacabados para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos e/ou onde o lado de acionamento da pluralidade de dentes tenha sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos e/ou onde o lado traseiro da pluralidade de dentes tenha sido superacabado para uma rugosidade superficial (Ra) de 0,25  $\mu\text{m}$  ou menos.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de onde a roda de engrenagem oca é superacabada por meio da agitação da roda de engrenagem oca na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução de produto químico capaz de reagir com o metal da roda de engrenagem oca para a formação de um filme que tem um filme de dureza reduzida na superfície da roda de engrenagem oca, de modo que a pluralidade de meios de acabamento possa remover o filme de dureza reduzida da superfície da roda de engrenagem oca, desse modo se refinando a superfície da roda de engrenagem oca, após o que a composição tendo um filme de dureza reduzida é imediatamente reformada pela reação entre a roda de engrenagem oca e a solução de produto químico para um

refinamento adicional pela pluralidade de meios de acabamento.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de a pluralidade de meios de acabamento ser selecionada a partir do grupo que consiste em: meios abrasivos (por exemplo, selecionados a partir do grupo que consiste em quartzo, granito, óxido de alumínio natural e sintético, carbureto de silício, óxidos de ferro e misturas dos mesmos), e meios não abrasivos (por exemplo, selecionados a partir do grupo que consiste em meios cerâmicos, meios plásticos, meios de aço, meios de aço inoxidável, e misturas dos mesmos);

onde os ditos meios abrasivos podem ser mantidos em uma matriz de porcelana, plástico ou misturas dos mesmos.

15. Método, de acordo com a reivindicação 13 ou 14, **caracterizado** pelo fato de a mistura ocorrer dentro de um aparelho de acabamento vibratório.

16. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 15, **caracterizado** pelo fato de a quantidade de solução de produto químico ser suficiente para a manutenção das superfícies da roda de engrenagem oca e da pluralidade de meios de acabamento em uma condição úmida.

17. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 16, **caracterizado** pelo fato de a solução de produto químico compreender um produto químico selecionado a partir do grupo que consiste em sal de fosfato, ácido de fosfato, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crômico, cromato de sódio ou misturas dos mesmos, ou

a solução de produto químico compreende um acelerador selecionado a partir do grupo que consiste em zinco, fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos, metanitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e misturas dos mesmos.

18. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de as engrenagens planetas serem superacabadas por meio da agitação das engrenagens planetas na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução de produto químico capaz de reagir com o metal das engrenagens planetas para a formação de um filme que possui um filme de dureza reduzida na superfície das engrenagens planetas, de modo que a pluralidade de meios de acabamento possa remover o filme de dureza reduzida da superfície das engrenagens planetas, desse modo se refinando a superfície das engrenagens planetas, após o que a composição tendo um filme de dureza reduzida é imediatamente reformada pela reação entre as engrenagens planetas e a solução de produto químico para um refinamento adicional pela pluralidade de meios de acabamento.

19. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de a engrenagem sol ser superacabada por meio da agitação da engrenagem sol na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução de produto químico capaz de reagir com o metal da engrenagem sol para a formação de um filme que possui um filme de dureza reduzida na superfície da engrenagem sol, de modo que a pluralidade de meios de acabamento possa remover o filme de dureza reduzida da superfície da

engrenagem sol, desse modo se refinando a superfície da engrenagem sol, após o que a composição tendo um filme de dureza reduzida é imediatamente reformada pela reação entre a engrenagem sol e a solução de produto químico para um refinamento adicional pela pluralidade de meios de acabamento.

20. Método, de acordo com a reivindicação 18 ou 19, **caracterizado** pelo fato de a pluralidade de meios de acabamento ser selecionada a partir do grupo que consiste em meios abrasivos, não-abrasivos, e mistura dos mesmos.

21. Método, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de o meio não abrasivo compreender uma mistura de grãos de óxido fundidos em uma massa coerente e substancialmente sem partículas abrasivas discretas, a massa coerente contendo, em uma base sem oxigênio, de 60 a 80 por cento em peso de alumínio e de 5 a 30 por cento em peso de silício.

22. Método, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** pelo fato de a massa coerente compreender de 76 a 78 por cento em peso de alumínio, de 10 a 12 por cento em peso de silício, de 5 a 9 por cento em peso de ferro, e de 4 a 6 por cento em peso de titânio, em uma base sem oxigênio, ou a massa coerente compreende de 63 a 67 por cento em peso de alumínio, de 26 a 36 por cento em peso de silício, de 2 a 4 por cento em peso de sódio, de 1 a 2 por cento em peso de potássio e de 0,5 a 0,8 por cento em peso de fósforo, em uma base sem oxigênio, ou a massa coerente compreende de 62 a 73 por cento em peso de alumínio, de 7 a 14 por cento em peso de silício, de 10 a 25 por cento em peso de manganês, e de 1 a 4 por cento em peso sódio.

23. Método, de acordo com a reivindicação 21 ou 22, **caracterizado** pelo fato de os grãos de óxido têm diâmetros entre 1 micron e 25 microns.

24. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 20 a 23, **caracterizado** pelo fato de o meio não abrasivo ter uma densidade de pelo menos 2,75 g/cm<sup>3</sup> e/ou ter um valor de dureza de pirâmide de diamante médio de pelo menos 845.

25. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 20, 21, 22, 23 ou 24, **caracterizado** pelo fato de a redução de peso médio da pluralidade de meios de acabamento causada pela sua agitação no processo não excederá a 0,1 por cento por hora.

26. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 18 a 25, **caracterizado** pelo fato de a quantidade de solução de produto químico ser suficiente para se manterem as superfícies da roda de engrenagem oca e da pluralidade de meios de acabamento em uma condição úmida.

27. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 18 a 26, **caracterizado** pelo fato de a solução de produto químico compreender um produto químico selecionado a partir do grupo que consiste em sal de fosfato, ácido de fosfato, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crômico, cromato de sódio ou misturas dos mesmos ou a solução de produto químico compreende um acelerador selecionado a partir do grupo que consiste em zinco, fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos,

metanitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e misturas dos mesmos.

28. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 27, **caracterizado** pelo fato de a engrenagem ter uma massa de mais de 200 kg e ser superacabada usando-se um acabamento quimicamente acelerado.

29. Método, de acordo com a reivindicação 28, **caracterizado** pelo fato de a engrenagem que possui uma massa de mais de 200 kg ser superacabada pela agitação da engrenagem que tem uma massa de mais de 200 kg na presença de uma pluralidade de meios de acabamento e uma solução de produto químico que é capaz de reagir com o metal da engrenagem tendo uma massa de mais de 200 kg, para a formação de um filme que tem um filme de dureza reduzida na superfície da engrenagem tendo uma massa de mais de 200 kg, de modo que a pluralidade de meios de acabamento possa remover o filme de dureza reduzida da superfície da engrenagem tendo uma massa de mais de 200 kg, desse modo se refinando a superfície da engrenagem tendo uma massa de mais de 200 kg, após o que a composição tendo um filme de dureza reduzida é imediatamente reformada pela reação entre a engrenagem tendo uma massa de mais de 200 kg e a solução de produto químico para um refinamento adicional pela pluralidade de meios de acabamento.

30. Método, de acordo com a reivindicação 29, **caracterizado** pelo fato de a pluralidade de meios de acabamento ser selecionada a partir do grupo que consiste em:

meios abrasivos selecionados (por exemplo, a partir do grupo que consiste em quartzo, granito, óxido de alumínio

natural e sintético, carbureto de silício, óxidos de ferro e misturas dos mesmos), e onde os ditos meios abrasivos podem ser mantidos em uma matriz de porcelana, plástico ou misturas dos mesmos;

meios não abrasivos (por exemplo, selecionados a partir do grupo que consiste em meios cerâmicos, meios plásticos, meios de aço, meios de aço inoxidável, e misturas dos mesmos); e misturas dos mesmos.

31. Método, de acordo com a reivindicação 29 ou 30, **caracterizado** pelo fato de a mistura ocorrer dentro de um aparelho de acabamento vibratório.

32. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 29 a 31, **caracterizado** pelo fato de a quantidade de solução de produto químico ser suficiente para a manutenção das superfícies da roda de engrenagem oca e da pluralidade de meios de acabamento em uma condição úmida.

33. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 29 a 32, **caracterizado** pelo fato de a solução de produto químico compreender um produto químico selecionado a partir do grupo que consiste em sal de fosfato, ácido de fosfato, ácido oxálico, oxalato de sódio, sulfato, ácido sulfúrico, bicarbonato de sódio, cromato, ácido crômico, cromato de sódio ou misturas dos mesmos, ou a solução de produto químico compreender um acelerador selecionado a partir do grupo que consiste em zinco, fosfatos de magnésio, fosfatos de ferro, oxidantes orgânicos, oxidantes inorgânicos, peróxidos, metanitrobenzeno, cloratos, cloritos, nitratos, nitritos e misturas dos mesmos.

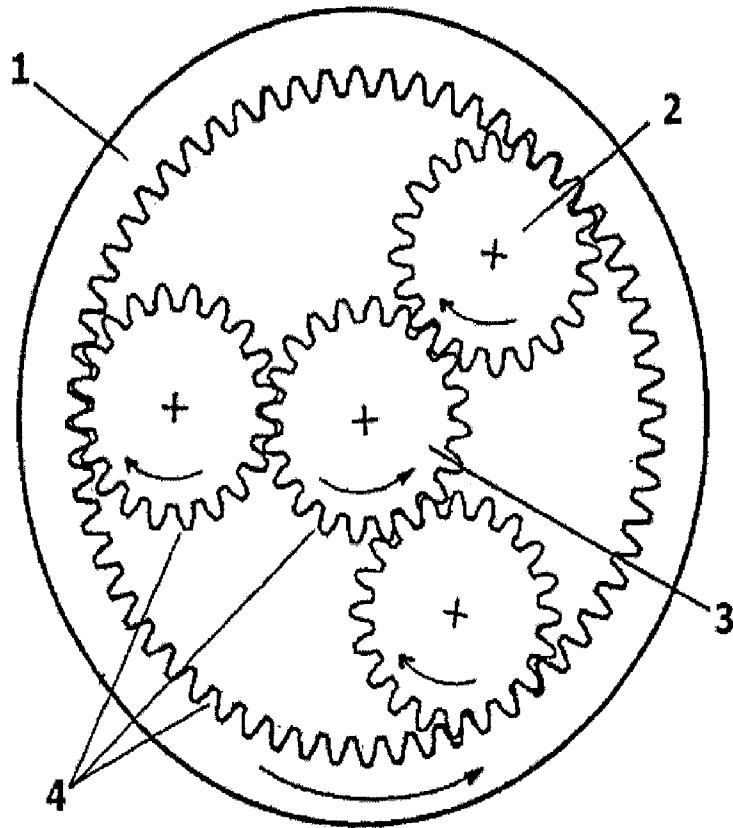


Fig. 1

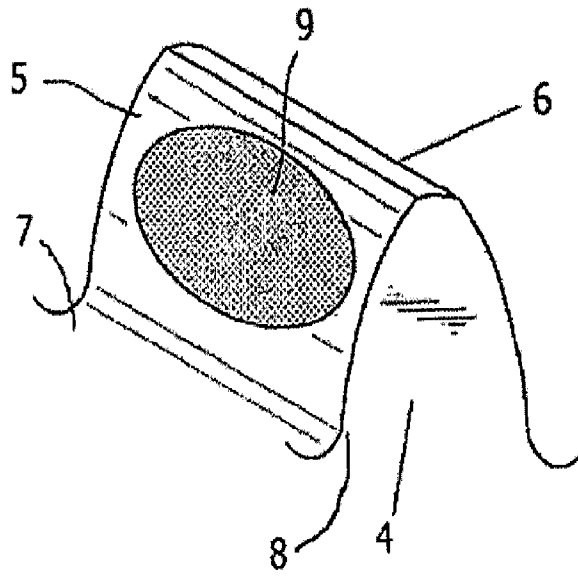


Fig. 2a

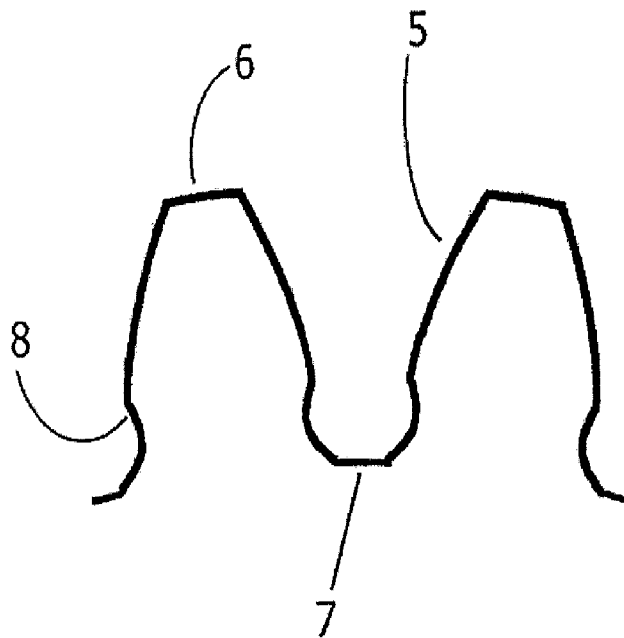
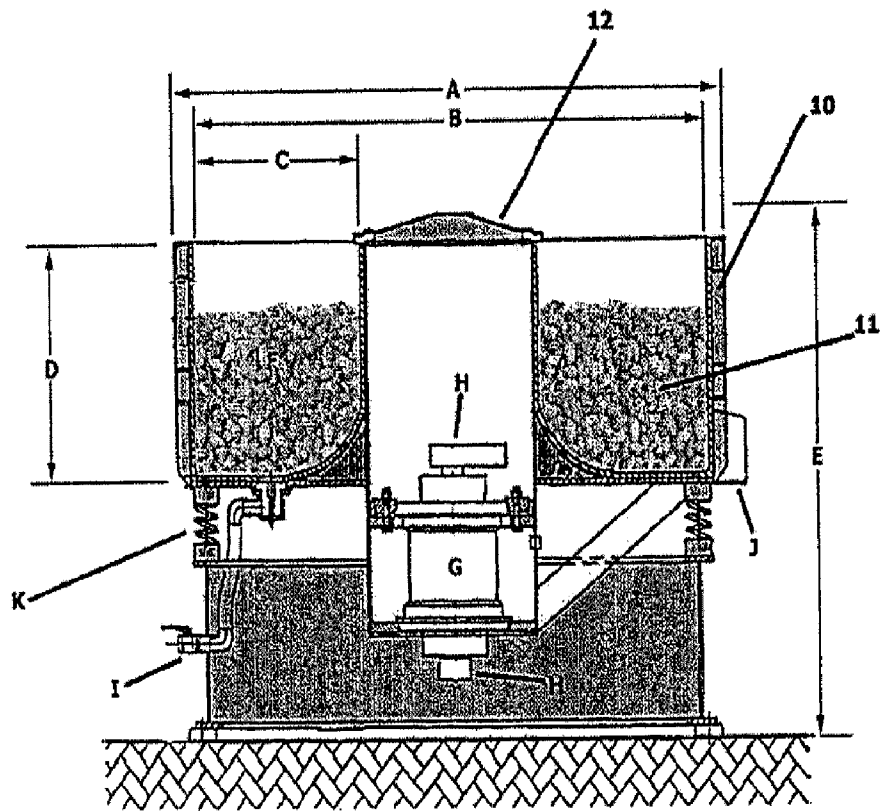
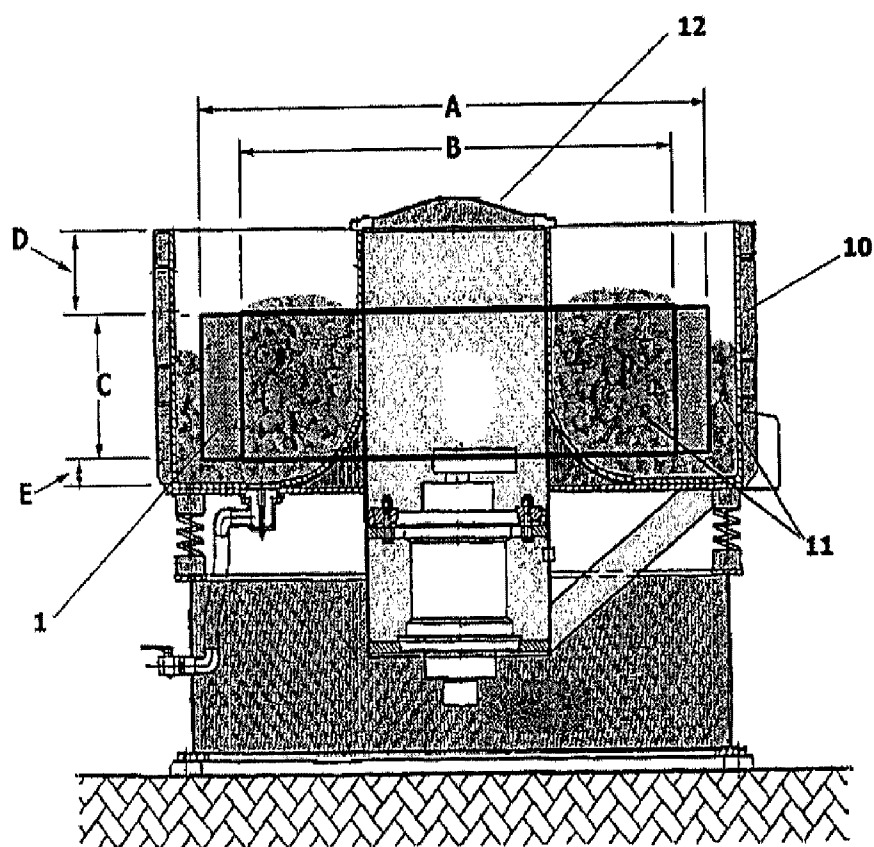


Fig. 2b



		DIMENSÃO (cm)
A	Diâmetro externo de vaso vibratório	201
B	Diâmetro interno de vaso vibratório	188
C	Largura de canal	62
D	Profundidade de canal	65
E	Altura total de vaso vibratório	148
F	Canal de processamento	
G	Motor de 7,5 kW	
H	Braços de peso ajustável	
I	Dreno	
J	Porta de descarga de meio	
K	Mola	

Fig. 3



		DIMENSÃO (cm)
A	Diâmetro externo de roda de engrenagem oca	169
B	Diâmetro interno de roda de engrenagem oca	146
C	Largura de face de engrenagem	39
D	Distância a partir do topo da engrenagem até o topo do canal	21
E	Distância aproximada a partir do fundo da engrenagem até o fundo do canal	5

Fig. 4

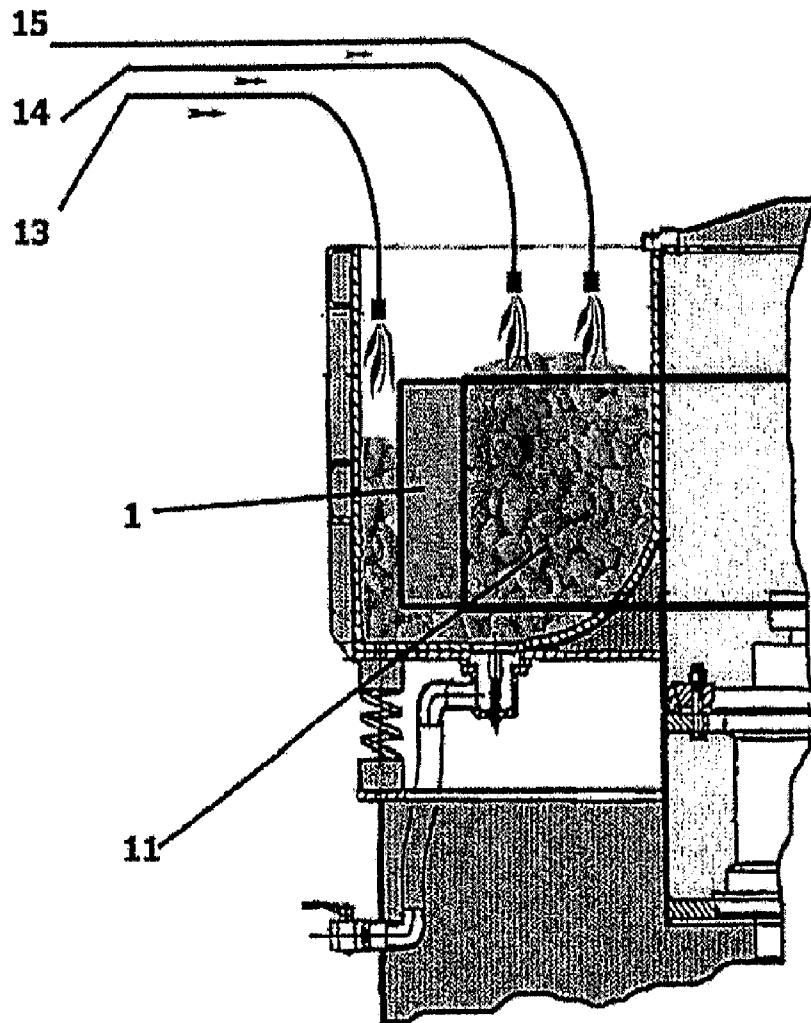


Fig. 5

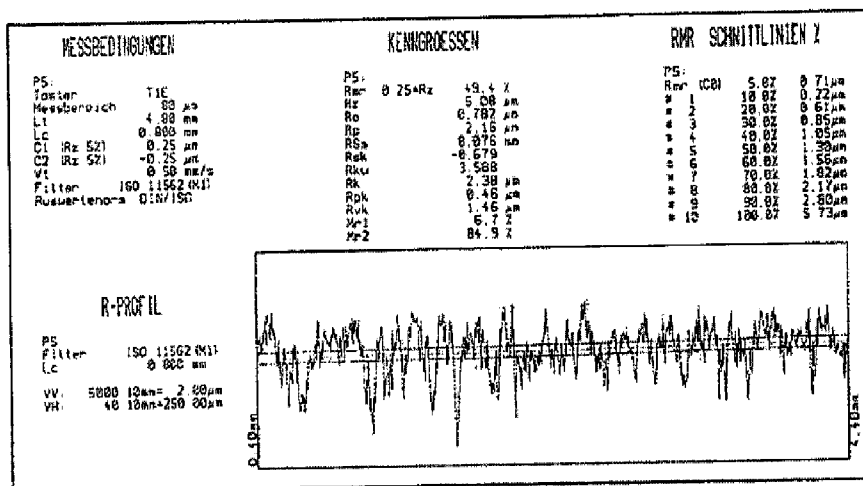


Fig. 6

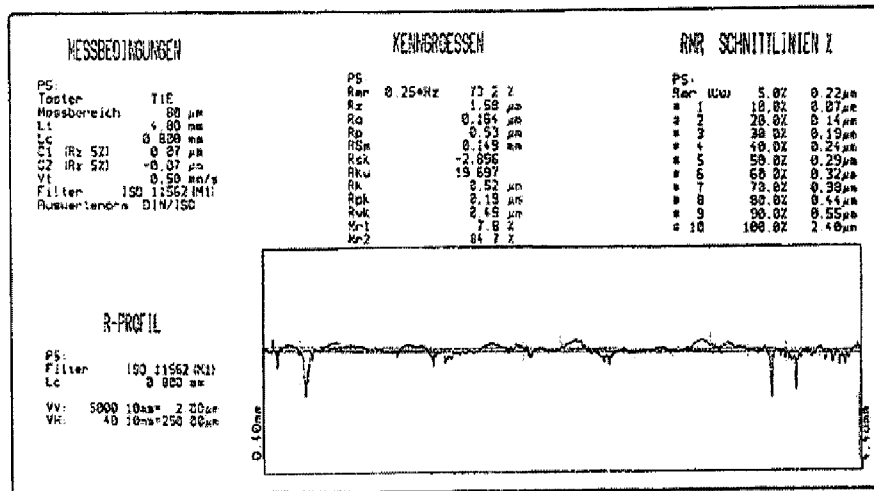


Fig. 7

**CAIXA DE TRANSMISSÃO PLANETÁRIA, ENGRENAGEM DE TRANSMISSÃO  
PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA E MÉTODO PARA A REDUÇÃO DE  
RESÍDUO DE LUBRIFICANTE EM UMA CAIXA DE TRANSMISSÃO  
PLANETÁRIA DE ESTÁGIO DE ENTRADA PARA UM GERADOR DE TURBINA  
DE VENTO GRANDE**

É mostrado aqui um sistema de engrenagem planetária grande melhorado novo usado no estágio de entrada de geradores de potência de turbina de vento. Este sistema de engrenagem planetária melhorado reduz ou elimina um resíduo de lubrificante tradicionalmente gerado a partir dos dentes de engrenagem, desse modo se eliminando uma fonte de iniciação de falha de mancal. Para a obtenção destes resultados, alguns e preferencialmente todos os dentes de engrenagem no sistema de engrenagem planetária foram superacabados usando-se um aditivo de controle de queima para uma rugosidade superficial de aproximadamente 0,25 micron ou menos. Vários objetivos e vantagens da invenção são para a provisão de uma caixa de transmissão com resíduo de metal reduzido, vida de mancal melhorada, desgaste reduzido, ruído de vibração / atrito reduzido, fadiga de contato melhorada, resistência a atrito acelerado por vibrações diferenciais na interface melhorada, lubrificação melhorada, para se simplificar o processo de amaciamento, e para melhoria da durabilidade e da eficiência da caixa de transmissão.