

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) FI 964586 A7

**(12) JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application **964586**

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
G01N 23/20

(22) Tekemispäivä - Ingningsdag - Filing date **03.05.1995**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **15.11.1996**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **14.01.1997**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - **03.05.1995 PCT/US1995/005488**
Internationell ansökan - International
application

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

18.05.1994 US 245011

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 •Proto Manufacturing Ltd, 2175 Solar Crescent, Oldcastle, Ontario NOR 1LO, KANADA, (CA)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 •Berkley, Stanley G., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Menetelmä väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöön mittaami seksi ja pidentämiseksi

Förfarande för mätning och förlängning av användningstiden hos utmattat ingsbegränsade metallkomponenter

Menetelmä väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöiän mittaamiseksi ja pidentämiseksi

Keksinnön ala

5 Tämä keksintö koskee yleisesti menetelmää väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöiän hallitsemiseksi. Tämä keksintö koskee yleisesti myös menetelmää väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöiän hallitsemiseksi ja pidentämiseksi. Erityisemmin tämä keksintö

10 koskee hallintamenetelmää, jossa käytetään ainetta rikkomatonta tekniikkaa väsymisrajoitteisten metallikomponenttien jäljellä olevan käyttökelpoisen käyttöiän mittaamiseksi määrittämällä puristusrasituksen jäännös yksittäisten komponenttien kriittisiltä pinnoilta. Tämän keksinnön

15 mukaista menetelmää käytettäessä metallikomponentti joko poistetaan käytöstä tai työstetään uudelleen sen puristusrasituksen jäännöksen kasvattamiseksi, kun puristusrasituksen jäännös on alentunut tai pudonnut alle sille ennalta määrätyn arvon. Tämä keksintö mahdollistaa sekä turvali-

20 lisuuden että taloudellisuuden turbiinimoottoreiden ja muiden sellaisten koneiden huollossa ja käytössä, jotka sisältävät väsymisrajoitteisia metallikomponentteja, tuottamalla luotettavan keinon ainetta rikkomatta mitata näiden väsymisrajoitteisten metallikomponenttien jäljellä olevaa käyttöikää. Tämä keksintö soveltuu erityisesti väsymisrajoitteisten pyörivien osien populaatioiden hallintaan kaasuturbiinimoottoreissa, lentokoneen moottorit mu-

25 kaan lukien, ja vastaavissa. Käyttämällä tämän keksinnön mukaisia menetelmiä tällaisten osien tai komponenttien puristusrasituksen jäännöksen mittaamiseen, on nyt mahdollista määrittää oikea aika (eli ennen pysyvää heikkenemistä, joka johtuu vetorasituksen jäännöksen aiheuttaman sä-

30 röilyn alkamisesta) työstää osa uudelleen sen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi tai palauttamiseksi, siten

35 että osan tai komponentin käyttöikää voidaan pidentää.

Tämän keksinnön mukaisia menetelmiä käyttämällä voidaan esimerkiksi suihkumoottoreissa tai turbiinimoottoreissa käytettävien komponenttien populaation kokonaiskäyttöikä maksimoida ilman turvallisuuden merkittävää vähenemistä.

5 Itse asiassa tämä keksintö voi tuottaa sekä lisääntyntä turvallisuutta että taloudellisuutta ilmailussa ja muilla teollisuudenaloilla.

Keksinnön tausta

Kaasuturbiinien tai suihkumoottoreiden väsymisrajoitteisia metallikomponentteja tai muita koneen komponentteja, jotka ovat alttiina metallin pettämiselle tai väsymiselle, on huollettava huolellisesti, jotta vältetään niiden hajoamiselta käytön aikana. Esimerkiksi suihkumoottorin kriittisen komponentin hajoaminen toiminnan aikana saattaa johtaa ihmishengen menetykseen tai muihin katastrofaalisiin seuraamuksiin. Nykyisin ilmailuteollisuudessa (kaupallisessa ja sotilasilmailussa) on käytössä kolme yleistä hallintatekniikkaa tai lähestymistapaa, joita käytetään väsymisrajoitteisten koneen osien hallinnassa niiden mahdollisen katastrofaalisen metallin väsymisestä johtuvan hajoamisen estämiseksi. Kukin näistä lähestymistavoista yrittää tasapainottaa turvallisuutta ja taloudellisia näkökohtia perustuen saatavilla oleviin tietoihin. Katso esimerkiksi S. Sureshin teos Fatigue of Metals, 25 499 - 502 (1991), jossa kuvataan yleisesti näitä kolmea yleisesti käytettyä hallintatekniikkaa.

Konservatiivisin näistä lähestymistavoista, josta usein käytetään nimitystä "turvallisen eliniän" lähestymistapa, perustuu arvioituun väsymisikään, joka määritetään analysoimalla ja vertaamalla koneen valmistajan koke-
 30 muksia. Tässä lähestymistavassa yritetään arvioida sitä hetkeä, jossa kokonaispopulaation lyhytikäisimmän komponentin tai osan voidaan odottaa pettävän. Sopiva turvamarginaali huomioon ottamalla käytetään tälle komponentille
 35 mielivaltaista hylkäämishetkeä. Tämä hylkäämishetki mita-

taan tavallisesti kokonaisnoususykleinä tai käyttötunteina. Kun osa saavuttaa hylkäämishetkensä, se poistetaan käytöstä ja tuhotaan sen luvattoman jatkokäytön estämiseksi. Vaikka tämä mahdollistaakin yleisesti suurimman turvallisuusmarginaalin, menetetään huomattava osa tällaisten osien taloudellisesti käyttökelpoisesta käyttöiästä. Itse asiassa tämä "turvallisen eliniän" lähestymistapa perustuu kokonaispopulaation heikoimman osan tai komponentin heikoimman osan eliniän arviointiin ja on sen kontrolloima.

Hieman vähemmän konservatiivinen hallintatekniikka on niin kutsuttu "hajoamisturvallisuuden" lähestymistapa. Tässä lähestymistavassa maksimikäyttöiän määrää se kertyneiden käyttötuntien tai syklien (kumpi tahansa täyttyy ensin) kokonaismäärä, jossa samanlaisten osien populaation jossakin osassa (eli kiekossa tai rumpuroottorissa, jota käytetään kompressorissa, turbiinissa tai moottorissa) havaitaan ensimmäinen murtuma. Kun yhdessä osassa on kehittynyt tällainen murtuma, käytetään sen kertynyttä käyttöikää (tunneissa tai sykleissä) tehokkaasti määräämään populaation kaikkien samanlaisten osien käyttöikää. Jos jonkin osan huomataan myöhemmin kehittävän halkeaman lyhyemmässä ajassa, käytetään tätä osaa sitten populaation hyväksyttävien käyttöikärajojen määrittelyä uudelleen (ja lyhentämiseksi). Osan saavuttaessa hyväksyttävän käyttöikänsä, se poistetaan käytöstä ja tuhotaan jatkokäytön estämiseksi. Itse asiassa myös tämä "hajoamisturvallisuuden" lähestymistapa perustuu kokonaispopulaation heikoimpaan osaan tai komponenttiin ja on sen määrittelyä. Monilla osilla saattaa silti olla monia turvallisen ja käyttökelpoisen käyttöiän tunteja tämän heikoimman osan käyttöiän jälkeen. Mutta koska näiden osien käyttökelpoisuutta ja turvallista käyttöikää ei kyetä luotettavasti määrittämään, on ne poistettava käytöstä turvallisuuden nimissä. Tätä "hajoamisturvallisuuden" lähestymistapaa käytetään yleisesti reittilentoteollisuudessa kypsille lento-

kalustoille, joissa kyseisissä komponenttipopulaatioissa on havaittu väsymismurtumia lyhyellä syklivälillä. Siellä, missä ei ole kertynyt riittävästi huoltotietoja, käytetään yleensä konservatiivisempaa "turvallisen eliniän" lähestymistapaa. Molemmissa lähestymistavoissa poistetaan kuitenkin osia, joilla on jäljellä monia turvallisen ja luotettavan käyttöiän tunteja.

Äskettäin Yhdysvaltojen ilmavoimat on menestyksellä käyttänyt käyttöön vieläkin vähemmän konservatiivisen hallintatekniikan, niin kutsutun "syystä poistamisen" lähestymistavan, hallittaessa joitakin kriittisiä moottorin komponentteja. Tässä lähestymistavassa osat tutkitaan jaksoittain ainetta rikkomattomalla tavalla säröjen varalta käyttäen esimerkiksi fluoresoivan väriaineen penetraatiota tai magnaflux-tekniikkaa. Havaittaessa murtumaosa, mutta ainoastaan kyseinen osa, poistetaan välittömästi palveluksesta. Muita osia, vaikka niille olisi kertynyt käyttöaikaa yhtä paljon tai jopa enemmän kuin käytöstä poistetulle osalle, käytetään edelleen, kunnes niihin todella kehittyy säröilyä. Turvallisen toiminnan varmistamiseksi tämä lähestymistapa vaatii jaksoittaista ja usein toistuvaa osien tarkastusta. Yleensä osien ikääntyessä tarkastustaajuutta tulisi kohottaa. Joka tapauksessa tarkastusten taajuuden on oltava sellainen, että tarkastusten välinen jakso on lyhyempi, edullisesti huomattavalla marginaalilla, kuin aika, joka normaalisti kuluu havaittavan särön laajenemiseen todelliseksi hajoamiseksi. Vaikka tämä lähestymistapa saattaakin johtaa useammin tapahtuviin purkuihin yksittäisten osien tarkastamiseksi, voivat potentiaaliset säästöt, jotka perustuvat yksittäisten osien maksimieliniän saavuttamiseen tai ainakin lähestymiseen, olla valtavia. Tämän lähestymistavan merkittävin heikkous on se, että siinä luotetaan osassa olevan todellisen särön havaitsemiseen. Näin ollen tämä lähestymistapa ei yleensä sovellu osille, joissa säröjen muodostumista ei pystytä havaitse-

maan luotettavalla ja varmalla tavalla. Särön muodostuttua osa sisältää itse asiassa pysyvän, peruuttamattoman vian, joka lopulta johtaa varmasti sen hajoamiseen, kenties katastrofaaliseen hajoamiseen, ellei osaa poisteta käytöstä ajoissa. Lisäksi tämä lähestymistapa ei luonnollisesti sovellu käyttöön, jossa normaali aika, joka kuluu havaittavissa olevan särön kehittymiseen osan hajoamiseksi, on suhteellisen lyhyt. Lisäksi osissa, joissa varsinainen hajoaminen ei tapahdu nopeasti särön kehittymisen jälkeen, kohoo hajoamisen riski varsinaisen käytön aikana yksinkertaisesti siitä syystä että, jos tällainen särö kehittyy heti tarkastuksen jälkeen, maksimoituu aika, jolloin osaa käytetään viallisena. Tästä syystä tässä menetelmässä on kohonnut turvallisuusriski verrattuna "turvallisen elin-

15 iän" ja "hajoamisturvallisuuden" lähestymistapoihin. Tämä kohonnut riski, vaikka se kenties onkin pieni, voi silti olla merkittävä, koska havaintohetki on havaittavan murtuman varsinainen muodostuminen. Mitä pitempään osa pysyy käytössä särön muodostumisen jälkeen, sitä suurempi on

20 katastrofaalisen hajoamisen riski.

Näistä syistä olisi toivottavaa tuottaa ainetta rikkomattomia menetelmiä mittaamaan väsymisrajoitteisten metallikomponenttien jäljellä olevaa käyttöikää tai käyttökelpoista elinikää ennen säröjen syntymisen alkamista tai ainakin ennen kuin varsinaisia säröjä voidaan havaita (eli ennen kuin pysyvää ja palautumatonta vahinkoa on tapahtunut). Olisi myös toivottavaa tuottaa menetelmiä, joilla väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöaikaa tai käyttökelpoista elinikää voitaisiin lisätä, ilman

25 että merkittävästi lisätään metallikomponenttien katastrofaalisen pettämisen riskiä käytön aikana. Tällaiset menetelmät tuottaisivat sekä lisääntynyttä turvallisuutta että taloudellisuutta ilmailuteollisuudelle (kaupalliselle ja sotilasilmailulle). Tämän keksinnön mukaiset menetelmät

30

tuottavat yleisesti ottaen tällaisia parantuneita menetelmiä.

Keksinnön yhteenveto

Tämä keksintö koskee menetelmiä väsymisrajoitteisten metallikomponenttien populaatioiden hallitsemiseksi. Tämä keksintö koskee myös menetelmiä yksittäisten väsymisrajoitteisten metallikomponenttien jäljellä olevan käyttöiän havaitsemiseksi. Tämän keksinnön avulla hallittavia metallikomponentteja ovat sellaiset metallikomponentit, joilla on suhteellisen korkeat puristusrasituksen jäämän tasot niiden valmistuksen jäljiltä ja jotka ovat alttiita väsymisen aiheuttamalle hajoamiselle. Tällaiseen metallikomponenttiin valmistuksen jäljiltä jäänyt suhteellisen korkea puristusrasituksen jäämä saattaa johtua varsinaisesti käytetystä valmistusmenetelmästä ja/tai sitä seuraavasta metallikappaleen työstöstä hauliviimeistelyllä tai muilla varsinaisen valmistuksen jälkeisillä kylmätyöstömenetelmillä puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi. Valmistuksen jälkeinen puristusrasituksen jäämä on edullisesti alueella noin 344,7 - 1378,8 MPa (50 000 - 200 000 psi) ja edullisesti alueella noin 1034,1 - 1240,9 MPa (15 0000 - 180 000 psi). Komponentteja, joiden puristusrasituksen jäämät ovat suurempia tai pienempiä kuin nämä alueet, voidaan luonnollisesti hallita tämän keksinnön mukaisilla menetelmillä. Kuitenkin valmistuksesta tulevilla komponenteilla tulisi olla niille aiottua käyttötarkoitusta varten riittävä puristusrasituksen jäämä. Tämän keksinnön mukaisia menetelmiä käyttäen voidaan odottaa kohoaamista tällaisten metallikomponenttien sekä turvallisuudessa että taloudellisuudessa.

Metallikomponenttien väsymismurtumat kehittyvät lähes aina säröistä, joita kehittyy voimakkaan rasituksen alaisten metallikomponenttien pintakerrokseen. Säröjen muodostumisen todennäköisyyden vähentämiseksi huolehditaan tällaisten metallikomponenttien valmistuksessa normaalisti

erittäin tarkasti siitä, että rasitusjäämän lähtöarvo metallin kiderakenteen kriittisissä pintakerroksissa on suhteellisen voimakas puristus (usein jopa 1172 MPa (170 000 psi) tai korkeampi). Käytön suurella kuormituksella ja toimintalämpötiloissa komponentin puristusrasituksen jäämä pienenee asteittain ajan mukana. Kun puristuslujuuden jäämä saavuttaa arvon nolla, jatkuu suuntaus ja muodostaa näille alueille vetorasituksen jäämää. Ajan kuluessa vetorasituksen jäämä saattaa kohota tasoille, jotka ylittävät materiaalin pinnan äärimmäisen vetolujuuden, ja kehittyy säröjä. Tällaiset säröt käyttöön jätetyssä komponentissa etenevät, kunnes ne saavuttavat kriittisen pituuden, jolloin tapahtuu katastrofaalinen hajoaminen. Tämä keksintö tuottaa menetelmiä metallikomponenttien hallitsemiseksi, jolloin olosuhteet, joissa esiintyy huomattavaa vetorasituksen jäämää ja siitä johtuvaa säröilyn alkamista, vältetään. Seuraamalla puristusrasituksen jäämää korkean rasituskonsentraation alueilla ja pitämällä metallikomponentti puristusrasituksen olosuhteissa tuottaa tämä keksintö hallintaohjelman, joka ei nojaudu hallintakriteerinä joko odotettavissa olevaan tai todelliseen säröjen muodostumiseen.

Tämän keksinnön mukaisessa menetelmässä käytetään ainetta rikkomatonta tekniikkaa (eli röntgendiffraktiota) mittaamaan kyseisissä metallikomponenteissa jäljellä olevaa puristusrasituksen jäämää. Kun yksittäisen komponentin puristusrasituksen jäämä putoaa alle ennalta määrätyn rajan, tähän osaan, mutta ainoastaan tähän osaan, kohdistetaan tehokkaasti lisähuomiota. Metallikomponenteille, joiden puristusrasituksen jäämä on ennalta määrätyn rajan alapuolella, on olemassa olennaisesti kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa metallikomponentit yksinkertaisesti poistetaan pysyvästi käytöstä. Toisessa vaihtoehdossa metallikomponentti työstetään uudelleen (käyttäen esimerkiksi hauliviimeistelyä) sen puristusrasituksen jää-

män lisäämiseksi ja sitten se palautetaan käyttöön. Arvioimalla tällaisia metallikomponentteja jaksoittaisesti käyttämällä tämän keksinnön mukaisia menetelmiä, voidaan metallikomponenttien kokonaispopulaation käyttöikä maksimoida turvallisella ja tehokkaalla tavalla.

Metallikomponenteilla, joiden puristusrasituksen jäämä on ennalta määrättyä arvoa korkeampi, voidaan kyseisen komponentin jäljellä oleva käyttöikä määrittää. Mitä suurempi on ero mitatun puristuslujuuden jäämän ja ennalta määrätyn arvon välillä, sitä pidemmän tulisi kyseisen komponentin jäljellä olevan käyttöiän olla. Tällaisen informaation pitäisi olla käyttökelpoista (erityisesti kun ajan mittaan saadaan kerättyä merkittävä historiallinen tietokanta populaatiosta) sovitettaessa yhteen komponentteja käytettäväksi tietyissä moottoreissa tai sovelluksissa (eli sovitettaessa yhteen komponentteja, joilla on keskenään vertailukelpoiset jäljellä olevat käyttöiät) tai aikataulutettaessa rutiinipurkuja ja huoltoa.

Eräs tämän keksinnön kohde on tuottaa menetelmä metalliosien populaation hallitsemiseksi, jotta voidaan määrittää koska yksittäinen metalliosa on poistettava käytöstä, jolloin mainitut metalliosat on valmistettu siten, että niillä on suhteellisen korkeat puristusrasituksen jäämän tasot ja mainitut metalliosat ovat alttiita väsymisrajoitteiselle hajoamiselle mainitun menetelmän käsitäessä:

- (1) yksittäisen metalliosan valitsemisen populaatiosta;
- (2) valitun yksittäisen metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän määrittämisen yhdeltä tai useammalta puristuskonsentraation alueelta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa; ja
- (3) valitun yksittäisen metalliosan poistamisen käytöstä, mikäli yhdeltä tai useammalta puristuskonsent-

raation alueelta mitattu jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on pudonnut ennalta määrätyn arvon alapuolelle.

Toinen tämän keksinnön kohde on tuottaa menetelmä metalliosien populaation hallitsemiseksi siten, että populaation yksittäisten metalliosien käyttöikää pidennetään, jolloin mainitut metalliosat on valmistettu siten, että niillä on suhteellisen korkeat puristusrasituksen jäämän tasot ja mainitut metalliosat ovat alttiita väsymisrajoitteiselle hajoamiselle käytön aikana mainitun menetelmän käsittäessä kullekin populaation yksittäiselle metalliosalle:

(1) yksittäisen metalliosan poistamisen käytössä olevasta populaatiosta;

(2) tämän yksittäisen metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän mittaamisen yhdeltä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa;

(3) yhdeltä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta mitatun jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän vertaamisen ennalta määrättyyn arvoon; ja

(4) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on ennalta määrätyn arvon yläpuolella, tämän yksittäisen metalliosan palauttamisen käyttöön; tai

(5) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on ennalta määrätyssä arvossa tai sen alapuolella, tämän yksittäisen metalliosan uudelleentyöstämisen sen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi ennalta määrätyn arvon yläpuolelle ja sen jälkeen tämän yksittäisen metalliosan palauttamisen käyttöön.

Vaikka tätä keksintöä käytetään edullisesti samanaisten metalliosien suurten populaatioiden hallintamenetelmänä, voidaan sitä käyttää myös yksittäisten metalliosien testaamiseen. Täten esimerkiksi tätä keksintöä voidaan käyttää myös metalliosien pistokoetarkastuksiin koko niiden oletetun käyttöiän ajan osana rutiininomaista tai

aikataulutettua ennakkohuoltoa tai korjausten tai hajoa-
misten aiheuttamien purkujen aikana. Näin ollen vielä eräs
tämän keksinnön kohde on tuottaa menetelmä sen määrittämi-
seksi, koska metalliosa on poistettava käytöstä, jolloin
5 mainittu metalliosa on valmistettu siten, että sillä on
suhteellisen korkea puristusrasituksen jäämän taso ja mai-
nittu metalliosa on alttiina väsymisrajoitteiselle hajoa-
miselle, mainitun menetelmän käsittäessä:

(1) metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusra-
10 situksen jäämän mittaamisen yhdeltä tai useammalta rasi-
tuskonsentraation alueelta käyttäen röntgendiffraktiotek-
niikkaa;

(2) yhdeltä tai useammalta korkean rasituskonsent-
raation alueelta mitatun puristusrasituksen jäämän vertaa-
15 misen ennalta määrättyyn arvoon; ja

(3) metalliosan poistamisen käytöstä, mikäli yhdel-
tä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta mitattu
jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on pienempi kuin
ennalta määrätty taso.

20 Vielä eräs tämän keksinnön kohde on tuottaa mene-
telmä metalliosan käyttöiän pidentämiseksi, jolloin mai-
nittu metalliosa on valmistettu siten, että sillä on suh-
teellisen korkea puristusrasituksen jäämän taso ja mainit-
tu metalliosa on alttiina väsymisrajoitteiselle hajoami-
25 selle, mainitun menetelmän käsittäessä:

(1) metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusra-
situksen jäämän mittaamisen yhdeltä tai useammalta rasi-
tuskonsentraation alueelta käyttäen röntgendiffraktiotek-
niikkaa;

30 (2) yhdeltä tai useammalta korkean rasituskonsent-
raation alueelta mitatun puristusrasituksen jäämän vertaa-
misen ennalta määrättyyn arvoon; ja

(3) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä
on ennalta määrätyn tason yläpuolella, metalliosan palaut-
35 tamisen käyttöön; tai

(4) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on ennalta määrättyssä arvossa tai sen alapuolella, metalliosan uudelleentyöstämisen sen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi uudelleentyöstetylle tasolle, joka on en-
 5 nalta määrätyn tason yläpuolella, ja sen jälkeen metalliosan palauttamisen käyttöön.

Nämä ja muut tämän keksinnön kohteet ja hyödyt käyvät ilmi tarkasteltaessa tätä patenttihakemusta ja piirustuksia.

10 **Piirustusten kuvaus**

Kuvio 1 kuvaa tyypillistä suihkumoottorin kiekkoa ja siinä on esitetty rasituskonsentraation alueet, joista puristusrasituksen jäämä tulisi määrittää.

Kuvio 2 esittää tyypillistä kuvaajaa puristusrasituksen jäämästä käyttötuntien määrän funktiona turbiiniekkoille, joita käytetään erilaisissa kuormitus- ja lämpötilaolosuhteissa.

Keksinnön yksityiskohtainen kuvaus

Tämä keksintö koskee yleisesti menetelmiä väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöiän hallitsemiseksi sekä menetelmiä väsymisrajoitteisten metallikomponenttien käyttöiän hallitsemiseksi ja pidentämiseksi. Tämän keksinnön mukainen menetelmä käyttää hyödyksi ainetta rikkomatonta tekniikkaa väsymisrajoitteisten metallikomponenttien jäljellä olevan käyttökelpoisen käyttöiän mittaamiseksi määrittämällä yksittäisen komponentin kriittisten pintojen puristusrasituksen jäämää. Puristusrasituksen jäämä voidaan korreloida yksittäisen komponentin jäljellä olevan käyttöiän kanssa. Jos jäljellä oleva puristusrasitus ei ole pudonnut ennalta määrätyn arvon alapuolelle, voidaan komponentti palauttaa käyttöön. Mikäli puristusrasituksen jäämä saavuttaa ennalta määrätyn arvon tai alittaa sen, voidaan komponentti poistaa pysyvästi käytöstä. Tai mikäli halutaan ja näin voidaan tehdä voidaan komponentti työstää uudelleen puristusrasituksen jäämän kohot-
 35

tamiseksi tasolle, joka on ennalta määrätyn arvon yläpuolella, edullisesti arvoon, joka lähestyy komponentilla sen alkuperäisen valmistuksen jälkeen ollutta puristusrasitusta, ja sen jälkeen palauttaa käyttöön.

5 On hyvin osoitettu, että väsymismurtumat kehittyvät säröistä, joita muodostuu voimakkaan rasituksen ympäristöille altistuneiden metallikomponenttien pintakerroksessa. Hajoamista tapahtuu normaalisti esimerkiksi siksi, että säröjä muodostuu tällaisten komponenttien rasituskonsentraation alueilla. Kuvio 1 esittää tällaista komponenttia, nimittäin kiekkoa 10, jollaisia käytetään kaasuturbiinimoottoreissa. Tällaisen kiekon hajoamisen aiheuttavat useinkin säröt, joita muodostuu suuren rasituskonsentraation alueilla pintakerroksessa, kuten sisäsäteissä tai pyrstöliitoksen pohjassa 12 tai hampaistossa 14. Näitä pyrstöliitoksia tai hampaistoja käytetään kompressorin ja turbiinin siipien kiinnitykseen (ei esitetty kuviossa). Murtumien muodostumisen todennäköisyyden pienentämiseksi pidetään tällaisten komponenttien valmistuksessa normaalisti hyvin huolta siitä, että alkuperäinen puristusrasitus metallin kiderakenteessa kriittisissä pintakerroksissa on voimakkaassa puristuksessa. Esimerkiksi turbiiniekot, kuten kuviossa 1 on kuvattu, valmistetaan yleensä niin, että puristusrasituksen jäämä on luokkaa noin 1 172 MPa (170 000 psi). Turbiinimoottorin käytön aikana (eli suuren kuormituksen alaisena ja käyttölämpötiloissa) puristusrasituksen jäämä alenee asteittain ajan kuluessa, kuten kuviossa 2 on esitetty. Kuvion 2 käyrät (merkitty 20, 22, 24, 26 ja 28) ovat eri turbiiniekkoille 10 (eli eri vaiheissa) kaasuturbiinimoottorissa. Tällaisessa moottorissa kuhunkin kiekkoon kohdistuu erilainen kuormitus ja erilaiset lämpötila-olosuhteet käytön aikana. Täten puristusrasituksen jäämän alenemisnopeus on erilainen kullekin kiekolle tai vaiheelle. Kun puristusrasituksen jäämä saavuttaa arvon nolla, saattaa näille alueille kehittyä vetora-

situksien jäämää. Ajan kuluessa saattaa vetorasituksen jäämä kohota arvoihin, jotka ylittävät materiaalin pinnan äärimmäisen lujuuden, ja säröily alkaa. Tällaiset säröt käyttöön jätetyssä komponentissa etenevät, kunnes ne saavuttavat kriittisen pituuden, jolla hetkellä tapahtuu katastrofaalinen hajoaminen.

Tämän keksinnön mukaiset menetelmät seuraavat puristusrasituksen jäämää rasituskonsentraation alueilla säröjen ensimmäisen muodostumisen pintaan estämiseksi. Poistamalla komponentti käytöstä ennen kuin rasitukset muuttuvat luonteeltaan puristavasta vetäviksi, tai pitämällä rasitus puristavana, mahdollistavat nämä menetelmät yksittäisten komponenttien käyttämisen tavalla, jolla pinnan säröjä ei synny, tai ainakin ne muodostuvat merkittävästi hitaammin verrattuna nykyisiin hallintamenetelmiin. Nämä menetelmät mahdollistavat komponenttien maksimikäyttöiän saavuttamisen, ilman että hajoaminen tai turvallisuusriskit lisääntyvät. Lisäksi nämä menetelmät mahdollistavat yksittäisten komponenttien käyttöiän merkittävän pidentämisen ilman lisääntynyttä hajoamista tai turvallisuusriskiä.

Käytännössä annetuille metallikomponenttien tyyppille ja populaatiolle puristusrasituksen jäämä yksittäisten komponenttien pintakerroksissa mitataan yhdeltä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta käyttäen röntgendifraktiotekniikkaa. Varsinainen mitattava pinta-ala on normaalisti alueella noin 6,35 x 6,35 mm (1/4 x 1/4") - noin 25,4 x 25,4 mm (1 x 1"), vaikka haluttaessa voidaan käyttää pienempiä tai suurempiakin alueita. Mitattua arvoa (tai arvoja tai keskiarvoa) verrataan ennalta määrättyyn arvoon. Jos mitattu arvo on ennalta määrätyn arvon yläpuolella, voidaan osa palauttaa käyttöön. Jos mitattu arvo kuitenkin on yhtä suuri tai pienempi kuin tämä ennalta määrätty arvo, voidaan tätä komponenttia käsitellä monilla eri tavoilla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa komponentti voi-

daan poistaa käytöstä pysyvästi. Tällaisessa tapauksessa on yleensä edullista, että komponentti tehdään käyttökelvottomaksi tai merkitään muulla tavoin, jotta estetään sen luvaton jatkokäyttö. Toisessa vaihtoehdossa komponentti voidaan työstää uudelleen sen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi ja sen jälkeen palauttaa käyttöön. Normaalisti tällainen komponentti voidaan työstää uudelleen ja palauttaa käyttöön tietty lukumäärä kertoja tai syklejä (eli kunnes muut hajoamismekanismit hallitsevat tai komponentti ei enää täytä suunnittelukriteerejä tai spesifikaatioita). Hyväksyttävä tällaisten komponenttien uudelleentööstösykliä lukumäärä määritetään yleensä tapauskohtaisesti. Tietylle komponentille, kuten kuviossa 1 esitetylle kiekolle, käytön ja uudelleentööstön syklejä voidaan yleensä toistaa niin kauan kuin komponentti säilyttää mita- ja mikrorakenteellisen stabiilisuutensa.

Joissakin tapauksissa, joissa puristusrasituksen jäämä on ennalta määrätyn arvon yläpuolella, mutta lähellä sitä tai lähestymässä, saattaa olla edullista työstää tämä osa uudelleen tällä kertaa pikemmin kuin odottaa, että puristusrasituksen jäämä laskee ennalta määrätyn arvon alapuolelle. Esimerkiksi, jos mitattu puristusrasituksen jäämä näyttää siltä, että osalla on vain suhteellisen lyhyt käyttöikä jäljellä, ennen kuin uudelleentööstö on tarpeen (katso esimerkiksi käyrä 22 kuviossa 2 hetkellä 15 000 tuntia, ennalta määrätyn arvon ollessa 0 naulaa neliötuumalle [0 MPa]), saattaa olla taloudellisempaa työstää tämä osa uudelleen nykyisen aikataulun mukaisen seisokin/purkutapahtuman aikana mielummin kuin laittaa osa takaisin käyttöön ja sitten tarvita aikatauluun kuulumaton purku, jotta se voidaan työstää uudelleen ainoastaan lyhyen ajan kuluttua. Se, onko tämä modifioitu lähestymistapa sopiva ja toivottava kussakin tapauksessa, riippuu suurelta osin odotettavissa olevasta käyttöiästä, ennen kuin kyseinen osa putoaa ennalta määrätyn arvon alapuolelle. Jos odotet-

tavissa oleva jäljellä oleva käyttöikä on lyhyt (sitte-
 tehden tarpeelliseksi aikatauluun kuulumattoman purkamisen
 uudelleenmittausta varten), saattaa olla taloudellisempaa
 työstää kyseinen osa uudelleen, vaikka sillä onkin jäljel-
 5 lä käyttöikää. Tällaisessa tapauksessa ennalta määrättyä
 arvoa itse asiassa kohotetaan ainoastaan tälle kyseiselle
 kappaleelle.

Kuten alan tuntija havaitsee, riippuu puristusrasiti-
 tuksen jäämän ennalta määrätty arvo mille tahansa tietylle
 10 komponenttipopulaatiolle ainakin osittain alunperin val-
 mistettujen komponenttien puristusrasituksen jäämästä,
 komponenttien ominaisista fysikaalisista ja metallurgisis-
 ta ominaisuuksista, ympäristöstä, jossa komponentteja käy-
 tetään, sekä sopivista turvallisuustekijöistä. Erilaisten
 15 osien populaatioille tämä ennalta määrätty arvo on toden-
 näköisesti erilainen johtuen osien erilaisista muodoista
 ja altistumisesta erilaisille rasituksille käytön aikana.
 Samojen osien, joita käytetään erilaisissa olosuhteissa ja
 ympäristöissä, populaatioilla saattaa myös olla erilaiset
 20 ennalta määrättyt arvot. Lisäksi tietylle komponentille
 saattaa erilaisilla rasituskonsentraation alueilla olla
 erilaiset ennalta määrättyt arvot. Esimerkiksi metallikom-
 ponentin eri alueet altistuvat, tai kokevat, normaalisti
 erilaisia rasituksen määriä ja sen vuoksi niiden puristus-
 25 rasitus muuttuu erilaisilla nopeuksilla. Tällaisissa ta-
 pauksissa se alue, joka saavuttaa ennalta määrätyn arvonsa
 ensiksi, määrää normaalisti tämän komponentin käsittelyta-
 van. Vaikka se ei ole välttämätöntä, on yleensä edullista
 mitata tai muutoin tietää metallikomponenttien alkuperäi-
 30 nen puristusrasituksen jäämä, ennen kuin ne otetaan käyt-
 töön, tai pian sen jälkeen. Alunperin valmistetun kompo-
 nentin puristusrasituksen jäämän mittaaminen saattaa aut-
 taa varmistumaan siitä, että käytetään ainoastaan kompo-
 nentteja, jotka täyttävät spesifikaatiot, ja näin voidaan
 35 saada vertailuarvoja myöhemmille jäljellä olevan puristus-

rasituksen jäämän mittauksille. Lisäksi tällaisia puristusrasituksen jäämän lähtötietoja, yhdessä tämän keksinnön mukaisilla menetelmillä saatujen tietojen kanssa, voidaan käyttää määriteltäessä tai uudelleenmääriteltäessä sopivia komponenttien spesifikaatioita tai suunnittelukriteerejä.

Ennalta määrätty arvo voidaan ilmoittaa absoluuttisina lukuina (eli ominaisarvona puristusrasituksen jäämän sopivina yksiköinä) tai suhteellisina lukuina (eli komponentin jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän prosentiosuutena verrattuna alkuperäiseen vastavalmistettun kapaleen puristusrasituksen jäämään). Lisäksi tietyn populaation ennalta määrätty arvo voi muuttua ajan mukana, kun saadaan kerättyä enemmän historiatietoa. Esimerkiksi vasta suunnitelluille komponenteille saattaa olla toivottavaa käyttää suhteellisen korkeaa ennalta määrättyä arvoa odottamattomien vikojen estämiseksi turvallisuussyistä. Kun saadaan kerättyä käyttöikä tietoja, saattaa kuitenkin olla sopivaa alentaa ennalta määrättyä arvoa ellei merkittäviä turvallisuuteen tai vikoihin liittyviä ongelmia ole havaittu populaatiossa. Säättämällä ennalta määrätty arvo huolellisesti tietylle komponenttipopulaatiolle ajan kuluessa pitäisi olla mahdollista lähestyä optimiarvoa samalla säilyttäen toiminnan turvallisuus.

Joissakin tapauksissa ennalta määrätty arvo noin nolla MPa (0 psi) (tai muu sopiva yksikkö) tai 100 prosentin alenema puristusrasituksen jäämässä (eli kohta, jossa rasitus vaihtuu luonteeltaan puristavasta vetäväksi) saattaa olla sopiva. 0 MPa:n (0 psi) tai 100 %:n aleneman käyttö hallintakriteerinä saattaa olla sopivaa esimerkiksi maksimoitaessa sellaisen komponentin käyttöikää, jossa komponentin uudelleenöstäminen ei ole käytännöllistä tai muuten toteutettavissa. Useimmissa tapauksissa on kuitenkin yleensä edullista ja turvallisuusnäkökohtiin perustuen sopivaa käyttää ennalta määrättyä arvona arvoa, joka on suurempi kuin 0 MPa (0 psi) tai alle 100 %:n alenemaa.

Tällaiset korkeammat ennalta määrätyt arvot ovat erityisen edullisia, silloin kun komponentin uudelleentyöstäminen puristusrasituksen jäämän palauttamiseksi kokonaan tai osittain on mahdollista. Joissakin tapauksissa saattaa
 5 kuitenkin olla sopivaa käyttää ennalta määrättynä arvona pienempää arvoa kuin 0 MPa (0 psi) tai suurempaa alenemaa kuin 100 %.

Kuten edellä esitettiin, mitataan puristusrasituksen jäämä ainetta rikkomatta käyttäen tavanomaisia röntgendiffraktiotekniikoita. Puristusrasituksen jäämä mitataan edullisesti käyttäen kannettavaa röntgendiffraktiolaitteistoa. Esimerkkejä tällaisista röntgendiffraktiolaitteista ja tekniikoista voidaan löytää US-patentista
 10 5 125 016 (12. kesäkuuta 1992); Taira & Tanaka, "Residual Stress Near Fatigue Crack Tips", 19 Transactions of the Iron & Steel Institute of Japan, 411-18 (1979); Harting & Fritsch, "A Non-destructive Method to Determine the Depth-dependence of Three-dimensional Residual Stress States by X-ray Diffraction" 26 J. Phys. D: Appl. Phys., 1814-16
 20 (1993); Kuhn et al., "An X-ray Study of Creep-deformation Induced Changes of the Lattice Mismatch in γ' -Hardened Monocrystalline Nickel-Base Superalloy SRR 99", 39 Acta Metall. Mater., 2783-94 (1991), jotka kaikki sisällytetään tähän viitteiksi. Kannettavia röntgenlaitteita, jollainen on yleensä tässä keksinnössä edullinen, on kaupallisesti saatavilla esimerkiksi Technology for Energy Corporationilta (P.O. Box 2296, Lexington Drive, Knoxville, Tennessee 37933, USA), tai American Stress Technologies, Inc.:lta (61 McMurray Road, Pittsburgh, Pennsylvania
 25 15241). Tässä keksinnössä voidaan käyttää muunkin tyyppisiä ja mallisia röntgendiffraktiolaitteita tai tekniikoita. Normaalisti tällaiset mittaukset tulisi tehdä vähintään aikataulun mukaisten purkujen ja muiden huoltotapah-
 30 tumien aikana. Joissakin tapauksissa saattaa kuitenkin olla toivottavaa tehdä tällaiset mittaukset useammin kuin
 35

säännöllisen aikataulun mukaisissa huoltotapahtumissa, erityisesti uudenmallisten komponenttien populaation käyttöönsä alkuvaiheessa, jolloin pidempi käyttöikähistoria puuttuu. Normaalisti tällaiset puristusrasituksen jäämän mittaukset tehdään yksittäisille osille purkujen aikana. Joillekin komponenteille saattaa kuitenkin olla mahdollista tehdä tarvittavat mittaukset, ilman että tarvitsee suorittaa täydellistä purkamista. Kuten edellä huomautettiin, tulisi puristusrasituksen jäämän röntgendiffraktiomittaukset suorittaa suuren rasituskonsentraation alueilta (esim. kuviossa 1 esitetyn kiekon 10 hammastuksen pohjalta 14). Yleensä suuren rasituskonsentraation alueita ovat ne alueet, joilla säröjen muodostumista on havaittu tai joissa sitä todennäköisemmin tapahtuu. Kuitenkaan ei ole tarpeellista tehdä tällaisia mittauksia tietyn komponentin kaikista suuren rasituskonsentraation alueista, erityisesti silloin kun tällaiset alueet toimivat samanlaisissa kuormitus- ja lämpötilaolosuhteissa. Esimerkiksi kuvion 1 kiekosta mittaukset saatettaisiin suorittaa hammastuksen 14 pohjalta 12 kohdista 0, 90, 180 ja 270 astetta, mieluummin kuin jokaisen hammastuksen 14 pohjalta. Yksittäisiä lukemia näissä edustavissa kohdissa, tai yksittäisten lukemien keskiarvoa, verrataan ennalta määrättyyn arvoon. Tietokannan kehittyessä mittauksen lukumäärää ja suorituskohtaa tietylle kiekolle (tai muulle komponenttien populaatiolle) voidaan muokata sopivalla tavalla.

Kun komponentti saavuttaa ennalta määrätyn arvon tai alittaa sen, se voidaan joko poistaa pysyvästi käytöstä tai työstää uudelleen sen puristusrasituksen jäämän kohohtamiseksi tasolle, joka on ennalta määrätyn arvon yläpuolella ja sen jälkeen palauttaa käyttöön. Esimerkiksi käytettäessä ennalta määrättyä arvona 0 MPa (0 psi), tulisi kuvion 2 käyrän 28 esittämä kiekko poistaa käytöstä ja työstää uudelleen noin 10 000 käyttötunnin jälkeen; käyrien 24 ja 26 esittämät kiekot tulisi poistaa käytöstä

ja työstää uudelleen noin 15 000 tunnin jälkeen; käyrien 20 (erityisesti) ja 22 (vähemmässä määrin) esittämien kiekkojen käyttöiät ovat yli 15 000 tuntia. Puristusrasituksen jäämä tällaisissa uudelleentyöstetyissä komponenteissa 5 palautetaan edullisesti tasolle, joka on lähellä valmistuksen jälkeistä alkuperäistä puristusrasituksen jäämää. Tällaisten komponenttien uudelleentyöstäminen voidaan suorittaa käyttäen tavanomaisia menetelmiä puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi tai aikaansaamiseksi. 10 Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi haulipinnoitus ja muut pinnan kylmätyöstömenetelmät (esim. vasarapinnoitus, telaus tai painekiillotusmenetelmät). Katso esimerkiksi Dalyn artikkeli "Status of Controlled Shot-Peening Technology in the United States", International Conference on 15 Impact Treatment Processes (2nd: 1986) teoksessa Impact Surface Treatment (Meguid, Toim.), 237-41; Delitizia, "Improving Fatigue Life Through Advanced Shot Peening Techniques", 92 Manufacturing Engineering, 85 - 87 (1984). Luonnollisesti tällainen uudelleentyöstäminen on suoritettava 20 ennen kuin pysyvää heikkenemistä tapahtuu jäännösrasituksen aiheuttamasta säröilystä. Täten, silloin kun voidaan tehdä tällainen uudelleen työstäminen, on hallintakriteerinä käytettävä ennalta määrätty arvo edullisesti korkeampi (eli korkeampi puristusrasituksen jäämän ennalta 25 määrätty arvo) kuin tapauksissa, joissa uudelleentyöstöä ei aiota suorittaa. Asettamalla hallintakriteeri korkeammalle tällaisissa tapauksissa siirrytään kauemmaksi olosuhteista, joissa säröjen muodostumista, jota mahdollisesti ei edes voida havaita, saattaisi tapahtua, jolloin saadaan aikaan kohonnut turvallisuusmarginaali. Yleisesti on 30 edullista, että uudelleentyöstäminen kohottaa puristusrasituksen jäämää ainakin 50 %:iin osan valmistuksen jälkeisestä alkuperäisestä puristusrasituksen jäämästä. Edullisemmin puristusrasituksen jäämän uudelleentyöstötaso on 35 vähintään 80 % alkuperäisen valmistuksen tuottamasta ar-

vosta. Vielä edullisemmin uudelleentyöstetty taso on verrattavissa alkuperäisen valmistuksen tuottamaan arvoon.

Tämän keksinnön mukaiset menetelmät mahdollistavat yleisesti metallikomponentin käyttöiän maksimoimisen tuot-
 5 tamalla menettelytavan, jolla määritetään koska on optimaalisesti aika työstää metallikomponentti uudelleen sen puristusrasituksen jäämän palauttamiseksi kokonaan tai osittain. Liika uudelleentyöstäminen saattaa itse asiassa lyhentää käyttöikää, koska uudelleentyöstötekniikat, kuten
 10 haulipinnoitus, kasvattavat metalliosan mittoja uudelleentyöstetyllä alueella. Täten todennäköisyys, että metalliosa siirtyy pois suunnitteluspesifikaatioistaan, kasvaa funktiona sille suoritettujen uudelleentyöstökertojen lukumäärästä. Tämä keksintö tuottaa menettelytapoja, joilla
 15 voidaan saavuttaa maksimikäyttöikä uudelleentyöstökertojen minimilukumäärällä. Uudelleentyöstöjen vaikutus mittastabiilisuuteen tulisi luonnollisesti ottaa huomioon määriteltäessä tietyn komponentin sopivaa ennalta määrättyä arvoa.

20 Nämä menetelmät metallikomponenttien populaation hallitsemiseksi tuottavat huomattavan parannuksen nykyisin käytössä oleviin hallintamenetelmiin nähden. Sekä "turvallisen käyttöiän" että "hajoamisturvallisuuden" menetelmät luottavat odotettavissa olevaan käyttöikään perustuen joko
 25 ennustettuihin arvoihin tai tilastollisiin arvoihin säröjen muodostumisesta populaation heikoimmassa komponentissa. Näissä menetelmissä käyttöikää ei määritetä yksittäiselle komponentille. Näin ollen suurin osa komponenteista siirretään pois käytöstä, vaikka niillä silti on vielä
 30 jäljellä huomattava käyttöikä. "Käytöstä poisto syystä"-lähestymistapa luottaa siihen, että varsinainen säröjen muodostuminen tietyssä komponentissa havaitaan. Kun säröilyä havaitaan, komponentti poistetaan käytöstä. Valitettavasti, silloin kun säröjen muodostuminen voidaan havaita,
 35 ei komponenttia voida korjata tai työstää uudelleen, jotta

se saisi lisää käyttöikä. Lisäksi ainakin joissakin tapauksissa saattaa varsinaisten säröjen muodostumisen odottaminen hallintakriteerinä johtaa merkittäviin turvallisuusriskeihin. Tämän keksinnön mukaiset menetelmät tuottavat parantuneita hallintamenettelytapoja tuottamalla hallintakriteerejä (eli puristusrasituksen jäämät verrattuna ennalta määrättyihin arvoihin), jotka ovat havaittavissa selvästi, ennen kuin tapahtuu peruuttamatonta säröilyn alkamista tai säröjen muodostumista. Tämän keksinnön mukaisia menetelmiä käyttäen voidaan tällaisten komponenttien maksimikäyttöikä saavuttaa turvallisella ja tehokkaalla tavalla. Tämän keksinnön mukaisia menetelmiä käyttäen voidaan ainakin jotkut komponentit työstää uudelleen niiden puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi ja sijoittaa takaisin käyttöön, siten tuottaen kohonnutta tehokkuutta ilman turvallisuuden vaarantamista. Itse asiassa tämän keksinnön mukaisten menetelmien odotetaan saavan aikaan parantunutta tehokkuutta ja parantunutta turvallisuutta verrattuna nykyisiin käytettyihin hallintamenetelmiin, koska hallintakriteeri perustuu puristusrasituksen jäämiin todellisen tai odotettavissa olevan säröjen muodostumisen sijasta. Käyttämällä hallintakriteerinä puristusrasituksen jäämää todellisen tai odotettavissa olevan säröjen muodostumisen sijasta turvallisuusmarginaalin voidaan odottaa kohoavan, mahdollisesti merkittävästi.

Tämän keksinnön mukaiset menetelmät sopivat ideaalisesti metallikomponenttien tietokoneseurannan hyväksikäyttöön niiden käyttöiän aikana. Lisäksi näillä menetelmillä aikaansaatuja tietoja (eli puristusrasituksen jäämiä) ja yksittäisten komponenttien käyttöikä ja historiaa koskevia tietoja voidaan käyttää kehitettäessä hallintatietokanta näille metallikomponenteille. Kun historiallinen pohja tällaisessa tietokannassa kasvaa, tulee mahdolliseksi ennustaa luotettavasti tietyn osan käyttöikä. Täten, kun kerran on kehitetty tällainen tietokanta, ei enää

ole tarpeen mitata kaikkien komponenttien puristusrasitusta jokaisessa purkamisessa tai muussa huoltotapahtumassa. Jos komponentin kokonaiskäyttöikä tai historia on riittävän lyhyt (määriteltynä tietokannan historiatiedoista), voidaan puristusrasituksen mittausta viivyttaa. Ainoastaan 5 sellaiset komponentit, joiden käyttöikä tai historia lähestyy jotakin määriteltävissä olevaa parametria (joka jälleen määritellään tietokannan historiatiedoista) vaativat senhetkisen puristusrasituksen mittausta ja vertaamista 10 ennalta määrättyyn arvoon. Esimerkiksi tietyllä komponentilla tietokanta saattaisi näyttää, että vain sellaisilla komponenteilla, joiden käyttöikä on yli 10 000 tuntia, on koskaan ollut puristusrasituksen jäämiä, jotka lähestyvät ennalta määrättyä arvoa tai ovat sen alapuolella. 15 Tällaisessa tapauksessa ainoastaan ne komponentit, joiden käyttöiät ovat tätä arvoa suuremmat, vaativat puristusrasituksen jäämän mittaamista rutiinipurkamisen yhteydessä. Luonnollisesti komponentit, joissa on epänormaalisuuksia tai komponentit, jotka ovat olleet alttiina äärimmäisille 20 käyttöajan tapahtumille, tulisi arvioida huolimatta niille kertyneestä käyttöiästä. Lisäksi saattaa olla asiallista ainakin suorittaa joitakin pistokokeita komponenteilla, joiden käyttöikä on lyhyempi, jotta jatkuvasti tarkistetaan tietokannan ajan tasallaolo ja sen ennustuskyky. 25 Välttämällä varsinaisia mittauksia komponenteista, joilla erittäin epätodennäköisesti on ennalta määrättyä arvoa pienemmät puristusrasituksen jäämät, saatetaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Luonnollisesti menetelmä, jota käytetään tämän todennäköisyyden ennustamiseen, on koeteltava 30 ajan kanssa, jotta se olisi sekä tehokas että turvallinen.

Näitä menetelmiä ei kuitenkaan ole tarkoitettu korvaamaan kaikkea tällaisten metallikomponenttien ainetta rikkomatonta testausta. Kuten alan tuntijat havaitsevat, on nämä menetelmät suunniteltu hallitsemaan hajoamisia ja 35 vikoja, jotka liittyvät säröjen muodostumismekanismeihin,

jotka yleisesti liitetään pintakerrosten puristusrasituksen jäämään ja vetorasituksen jäämään. Muita ainetta rikkomattomia testausmenetelmiä muuntyyppisten vikojen ja/tai vikamekanismien tunnistamiseksi, erityisesti tällaisten komponenttien käyttöiän aikaisessa vaiheessa (eli niin kutsutun "lapsikuolleisuuden" jakson aikana) tulisi jatkaa sopivalla tavalla. Tällaisen muista ainetta rikkomattomista testausmenettelyistä saatavan tiedon sisällyttäminen edellä kuvattuun hallintatietokantaan saattaa mahdollistaa vieläkin täydellisemmän tällaisten metallikomponenttien populaatioiden seurannan ja hallinnan.

Lisäksi tämän keksinnön mukaisia menetelmiä käyttäen voidaan komponentteja, joilla on suurin piirtein sama jäljellä oleva käyttöikä (eli noin yhtä suuri puristusrasituksen jäämä), käyttää yhdessä. Normaalisti tällaisten purkujen taajuutta yksittäisissä moottoreissa kontrolloi se komponentti, jolla on lyhin jäljellä oleva käyttöikä. Välttämällä sellaisten komponenttien käyttöä, joiden jäljellä oleva käyttöikä vaihtelee laajalti, voidaan välttää moottoreiden aikainen purkaminen, joka johtuu yhdestä komponentista, jolla on jäljellä vain vähän käyttöikää. Sovittamalla yhteen komponentit, joilla on samanlaiset jäljellä olevat käyttöiät tiettyyn moottoriin, voidaan purkamisten lukumäärää koko populaatiossa vähentää.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä metalliosien populaation hallitsemiseksi sen määrittämiseksi, koska yksittäinen metalliosa on poistettava käytöstä, t u n n e t t u siitä, että mainitut metalliosat on valmistettu siten, että niillä on suhteellisen korkeat puristusrasituksen jäämien tasot ja mainitut metalliosat ovat alttiita väsymiseen liittyvälle hajoamiselle, mainitun menetelmän käsittäessä:

(1) yksittäisen metalliosan valitsemisen populaatiosta;

(2) valitun yksittäisen metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän määrittämisen yhdestä tai useammasta rasituskonsentraation alueesta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa; ja

(3) valitun yksittäisen metalliosan poistamisen käytöstä, mikäli yhdestä tai useammasta rasituskonsentraation alueesta mitattu jäljellä olevan puristusrasituksen jäämä on laskenut ennalta määrätyn arvon alapuolelle.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että jäljellä olevan puristusrasituksen jäämälle ennalta määrätty arvo on noin nolla.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että jäljellä olevan puristusrasituksen jäämälle ennalta määrätty arvo on kiinteä prosenttiosuus, joka on alle 100 % puristusrasituksen jäämästä, joka osalla oli sen valmistuksen jälkeen.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että metalliosat ovat kaasuturbiniissa tai suihkumoottorissa käytettäviä pyöriviä osia.

5. Menetelmä metalliosien populaation hallitsemiseksi populaation yksittäisten osien käyttöiän kasvattamiseksi, t u n n e t t u siitä, että mainitut metalliosat on valmistettu siten, että niillä on suhteellisen korkeat puristusrasituksen jäämien tasot ja mainitut metalliosat

ovat alttiita väsymiseen liittyvälle hajoamiselle mainitun menetelmän käsittäessä kullekin populaation yksittäiselle metalliosalle:

(1) populaation yksittäisen metalliosan poistamisen käytöstä;

(2) yksittäisen metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän mittaamisen yhdeltä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa;

(3) yhdeltä tai useammalta rasituskonsentraation alueelta mitatun jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän arvon vertaamisen ennalta määrättyyn arvoon; ja

(4) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä pysyy ennalta määrätyn tason yläpuolella, tämän yksittäisen metalliosan palauttamisen käyttöön;

(5) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on ennalta määrättyssä arvossa tai sen alapuolella, tämän yksittäisen metalliosan uudelleentyöstämisen sen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi ennalta määrätyn arvon yläpuolelle ja sen jälkeen tämän yksittäisen metalliosan palauttamisen käyttöön.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheet (1) - (5) toistetaan jaksoittain yksittäiselle metalliosalle, kunnes yksittäinen metalliosa on lopullisesti poistettava käytöstä.

7. Menetelmä sen määrittämiseksi, koska metalliosa on poistettava käytöstä, t u n n e t t u siitä, että mainittu metalliosa on valmistettu siten, että sillä on suhteellisen korkea puristusrasituksen jäämän taso ja mainittu metalliosa on alttiina väsymiseen liittyvälle hajoamiselle, mainitun menetelmän käsittäessä:

(1) metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän mittaamisen yhdestä tai useammasta rasituskonsentraation alueesta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa;

(2) yhdestä tai useammasta korkean rasituskonsentraation alueesta mitatun jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän vertaamisen ennalta määrättyyn arvoon; ja

5 (3) metalliosan poistamisen käytöstä, mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä mitattuna yhdestä tai useammasta rasituskonsentraation alueesta on pienempi kuin ennalta määrätty arvo.

10 8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että jäljellä olevan puristusrasituksen jäämälle ennalta määrätty arvo on noin nolla.

9. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että jäljellä olevan puristusrasituksen jäämälle ennalta määrätty arvo on kiinteä prosenttiosuus, joka on alle 100 % puristusrasituksen jäämästä, 15 joka osalla oli sen valmistuksen jälkeen.

10. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että metalliosa on kaasuturbiinissa tai suihkumoottorissa käytettävä pyörivä osa.

20 11. Menetelmä metalliosan käyttöiän pidentämiseksi, tunnettu siitä, että mainittu metalliosa on valmistettu siten, että sillä on suhteellisen korkea puristusrasituksen jäämän taso ja mainittu metalliosa on alttiina väsymiseen liittyvälle hajoamiselle, mainitun menetelmän käsittäessä:

25 (1) metalliosan pinnan jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän mittaamisen yhdestä tai useammasta rasituskonsentraation alueesta käyttäen röntgendiffraktiotekniikkaa;

30 (2) yhdestä tai useammasta korkean rasituskonsentraation alueesta mitatun jäljellä olevan puristusrasituksen jäämän vertaamisen ennalta määrättyyn arvoon; ja

(3) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on edelleen ennalta määrätyn tason yläpuolella, kyseisen metalliosan palauttamisen käyttöön; tai

(4) mikäli jäljellä oleva puristusrasituksen jäämä on edelleen ennalta määrättyssä tasossa tai sen alapuolella, kyseisen metalliosan uudelleentyöstämisen puristusrasituksen jäämän kohottamiseksi uudelleentyöstetylle tasolle, joka on ennalta määrätyn tason yläpuolella, ja sitten metalliosan palauttamisen käyttöön.

12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheet (1) - (4) toistetaan jaksoittain yksittäiselle metalliosalle, kunnes yksittäinen metalliosa on lopullisesti poistettava käytöstä.

13. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että jäljellä olevan puristusrasituksen jäämälle ennalta määrätty arvo on kiinteä prosenttiosuus, joka on alle 100 % puristusrasituksen jäämästä, joka osalla oli sen valmistuksen jälkeen.

14. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että metalliosa on kaasuturbiinissa tai suihkumoottorissa käytettävä pyörivä osa.

FIG. 1

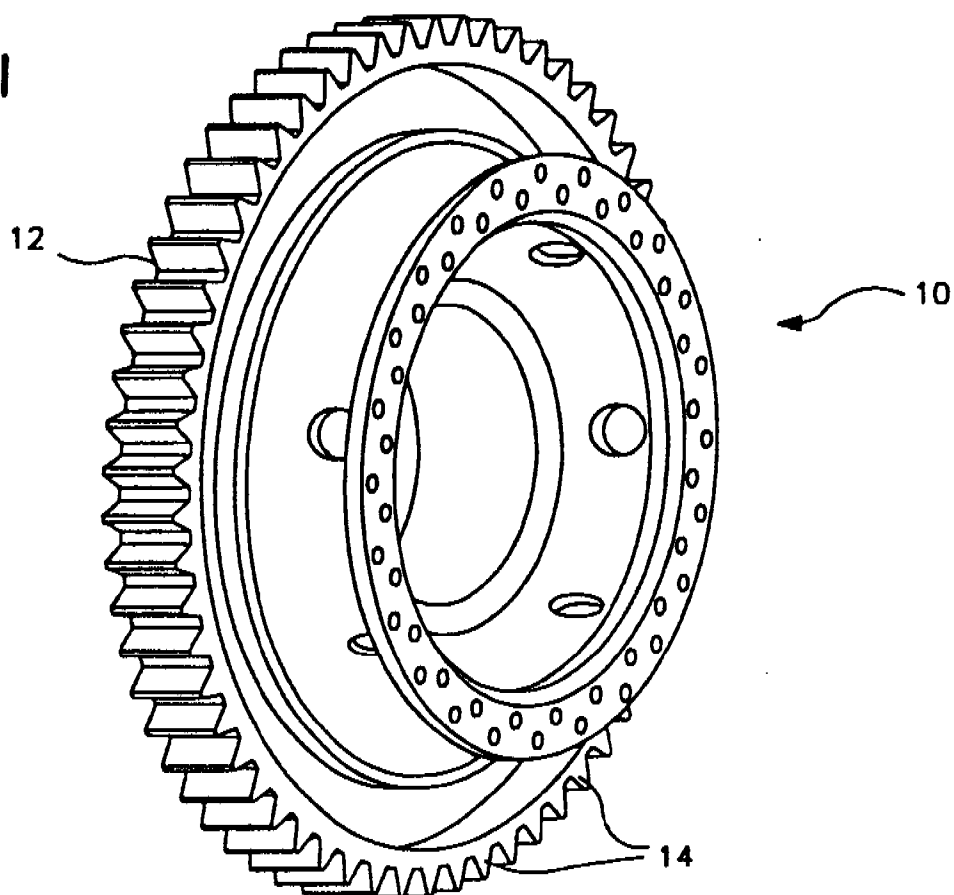
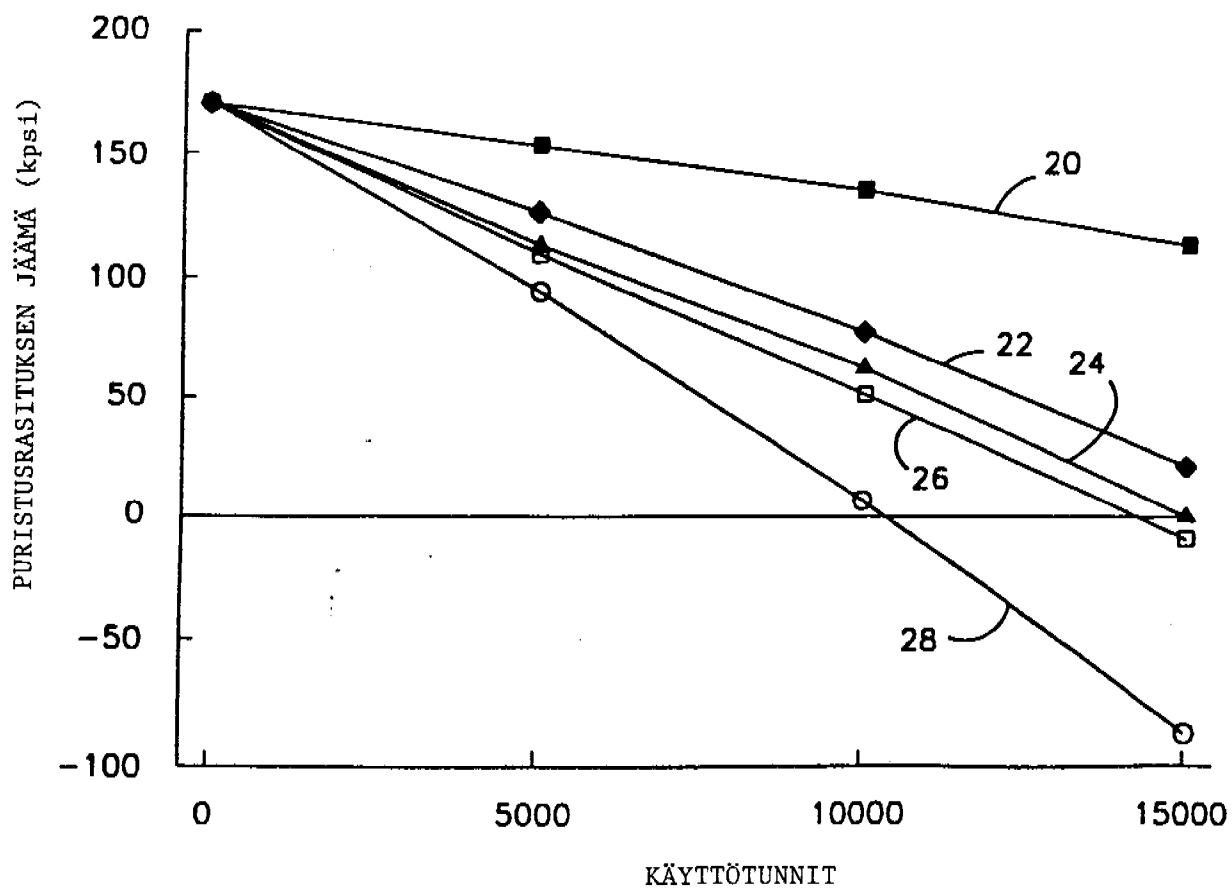


FIG. 2



PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

Patentti- ja innovaatiolinja

PL 1160

00101 Helsinki

TUTKIMUSRAPORTTI

PATENTTIHAKEMUS NRO	LUOKITUS, IPC7
964586	G01N 23/20

TUTKITUT PATENTTILUOKAT (luokitusjärjestelmät ja luokkatiedot)

-

TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT TIETOKANNAT

EPODOC, INSPEC

VIITEJULKAISUT

Kategoria*)	Julkaisun tunnistetiedot ja tiedot sen olennaisista kohdista	Koskee vaatimuksia
X	US2462374 B1, Philips Laboratories Inc., 22.2.1949	1 - 14
X	US5272746 B1, Genshi Nenryo Kogyo Kabushiki Kaisha, 21.12.1993	1 - 14
X, D	US5125016 B1, Outokumpu Oy, 23.6.1992	1 - 14
A, T	RU2215280 C1, Kotelkin et al., 27.10.2003	1 - 14

Jatkuu seuraavalla sivulla

☐

*) X Julkaisu, jonka perusteella keksintö ei ole uusi tai ei eroa olennaisesti ennestään tunnetusta tekniikasta.
Y Julkaisu, jonka perusteella keksintö ei eroa olennaisesti ennestään tunnetusta tekniikasta, kun otetaan huomioon tämä ja yksi tai useampi samaan kategoriaan kuuluva julkaisu yhdessä.
A Yleistä tekniikan tasoa edustava julkaisu.

O Tullut julkiseksi esitelmän välityksellä, hyväksikäyttämällä tai muutoin muun kuin kirjoituksen avulla.

P Julkaistu ennen hakemuksen tekemispäivää mutta ei ennen aikaisinta etuoikeuspäivää.

T Julkaistu hakemuksen tekemispäivän tai etuoikeuspäivän jälkeen ja valaisee keksinnön periaatetta tai teoreettista taustaa.

E Aikaisempi suomalainen tai Suomea koskeva patentti- tai hyödyllisyysmallihakemus, joka on tullut julkiseksi hakemuksen tekemispäivänä (etuoikeuspäivänä) tai sen jälkeen.

D Julkaisu, joka on mainittu hakemuksessa.

L Julkaisu, joka kyseenalaistaa etuoikeuden, osoittaa toisen julkaisun julkaisupäivämäärän tai johon viitataan jostakin muusta syystä.

& Samaan patenttiperheeseen kuuluva julkaisu.

Lisätietoja liitteessä

☐

Päiväys	Tutkijainsinööri
26.10.2004	Kimmo Aho