



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101982900001046
Data Deposito	14/12/1982
Data Pubblicazione	14/06/1984

Priorità	330.401
Nazione Priorità	US
Data Deposito Priorità	14-DEC-81

Titolo

METODO PER APPLICARE UN RIVESTIMENTO CERAMICO PRESOLLECITATO AD UN
SUBSTRATO METALLICO ED ARTICOLO COSÌ OTTENUTO

DOCUMENTAZIONE RILEGATA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"METODO PER APPLICARE UN RIVESTIMENTO CERAMICO PRESOLLECITATO AD UN

SUBSTRATO METALLICO ED ARTICOLO COSÌ OTTENUTO"

della UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION

Società dello Stato del Delaware

a HARTFORD, Connecticut (U.S.A.)

Inventori: George Scott BOSSHART, Alfred Pio MATARESE

.

R I A S S U N T O

Vengono descritti una struttura rivestita con materiale ceramico graduato e metodi per l'applicazione del rivestimento. Vengono discusse tecniche per mantenere bassi rapporti tra sollecitazione e resistenza attraverso la profondità del rivestimento. In una struttura particolare il rivestimento viene applicato ad un substrato metallico (12) e comprende un rivestimento di legante metallico (14), un primo interstrato (16) di metallo e materiale ceramico, un secondo interstrato (18) di metallo e materiale ceramico avente una proporzione aumentata di materiale ceramico ed uno strato tutto ceramico. La modulazione della temperatura del substrato metallico durante il processo di rivestimento stabilisce un tracciato di sollecitazione residua desiderato nella parte trattata.

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda un metodo per applicare un rivestimento ceramico ad un substrato metallico e rivestimenti ceramici di barriera termica, e particolarmente rivestimenti graduati da una composizione metallica ad una ceramica ottenuti nel realizzare tale metodo.

I concetti sono stati sviluppati nell'industria dei motori a turbina a gas per

l'uso nella fabbricazione di guarnizioni all'aria esterna della turbina, ma hanno un'applicabilità più ampia sia entro tale industria che anche in altre.

Nei moderni motori a turbina a gas, gas come mezzo di lavoro aventi temperature superiori a 1093°C vengono espansi attraverso file di palettature di turbina per l'estrazione di potenza dal mezzo fluente. Una cappa chiamata guarnizione di tenuta all'aria esterna circoscrive ciascuna fila di palettature di turbina per inibire la perdita dei gas del mezzo di lavoro sulle punte delle pale.

I rivestimenti ceramici graduati ed i metodi della loro applicazione descritti in questa relazione sono stati sviluppati per l'uso specifico in unione con le guarnizioni di tenuta all'aria esterna della turbina. Si ricercavano strutture durevoli capaci di un servizio affidabile a lungo termine nell'ambiente ostile della turbina. Le necessità specifiche sono una elevata capacità di resistenza alla temperatura ed una buona resistenza all'urto termico. Inoltre il materiale di tenuta deve avere una sufficiente abradibilità superficiale per impedire l'interferenza distruttiva al verificarsi di un contatto di strofinamento della guarnizione di tenuta da parte delle pale di rotore circoscritte.

I brevetti U.S.A. № 3.091.548 a nome Dillion dal titolo "Rivestimenti ad alta temperatura"; 3.817.719 a nome Schilke ed altri dal titolo "Materiale abradibile ad alta temperatura e metodo per preparare lo stesso"; 3.879.831 a nome Rigney ed altri dal titolo "Materiale abradibile ad alta temperatura a base di nichel"; 3.911.891 a nome Dowell dal titolo "Rivestimento per superfici metalliche e metodo per la sua applicazione"; 3.918.925 a nome McComas dal titolo "Guarnizione di tenuta abradibile"; 3.975.165 a nome Elbert ed altri dal titolo "Struttura graduata da metallica a ceramica per applicazioni di guarnizioni abradibili ad alta temperatura e metodo per produrre la stessa" e 4.109.031 a nome Marscher dal titolo

"Rilascio della sollecitazione in guarnizioni di tenuta metallo-ceramiche per turbine a gas" sono rappresentativi dei concetti noti applicabili alle guarnizioni di tenuta a rivestimento ceramico.

Come viene discussso in alcuni dei brevetti precedenti sopra citati ed in dettaglio particolare nel brevetto U.S.A. N° 4.163.071 a nome Weatherly ed altri dal titolo "Metodo per formare rivestimenti duri e resistenza all'usura", la temperatura del substrato metallico al quale viene applicato il rivestimento ceramico può essere preriscaldata per controllare o la sollecitazione residua o la densità del rivestimento. In generale tale riscaldamento si effettuava ad una temperatura uniforme.

Benché molti dei materiali e dei metodi descritti nei brevetti sopra citati sono noti per essere altamente desiderabili, le strutture risultanti da essi dovevano ancora raggiungere un pieno potenziale particolarmente nelle applicazioni in ambienti ostili. Una notevole ricerca in materiali ancor più perfezionati e relativi metodi continua tutt'ora.

Secondo la presente invenzione, strati graduati di metallo e materiale ceramico aventi composizione ceramica in aumento vengono applicati in sequenza ad un substrato metallico in condizioni di temperature variate del substrato, includendo la deposizione di uno o più strati ad una temperatura iniziale maggiore o eguale alla temperatura finale alla quale lo strato precedente era stato depositato, e una temperatura finale minore o eguale della temperatura alla quale lo strato successivo deve essere depositato.

Secondo un metodo dettagliato, gli strati graduati vengono applicati continuamente con variazioni nella composizione ceramica e metallo che vengono fatte senza interrompere il processo di rivestimento e variazioni nella temperatura del substrato

che vengono fatte in zone di transizione durante il processo di rivestimento.

Una caratteristica principale della presente invenzione è il controllo della mancanza di accoppiamento per sollecitazione termica. Il controllo della temperatura del substrato durante il processo di rivestimento stabilisce una caratteristica di temperatura nella parte rivestita alla quale il materiale entro la parte è essenzialmente privo di sollecitazione. La modulazione della temperatura del substrato non soltanto in corrispondenza di ogni strato successivo ma in posizione dello strato stesso di composizione uniforme, incorpora una distribuzione preferita di sollecitazione residua attraverso gli strati.

Un vantaggio principale della presente invenzione è il raggiungimento di rapporti sicuri tra sollecitazione e resistenza nel rivestimento. Rapporti sicuri vengono mantenuti attraverso tutta la gamma di temperature e di gradienti di temperatura ai quali la parte viene esposta durante il suo ciclo operativo. L'avarie del rivestimento viene impedita anche in condizioni di temperatura che possono variare fino a 1093°C. Quando la parte viene inizialmente riscaldata in un ambiente operativo, le sollecitazioni di compressione residue nel materiale ceramico vengono rilasciate. Ulteriore riscaldamento induce sollecitazioni termiche di tensione nel materiale ceramico, ma non a tali valori che provocherebbero l'avarie.

I precedenti scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione diverranno più chiari alla luce della seguente descrizione del miglior modo per realizzare l'invenzione stessa e dai disegni annessi in cui:

la Fig. 1 è un'illustrazione semplificata del processo di rivestimento di una guarnizione di tenuta a superficie ceramica di un motore a turbina a gas;

la Fig. 2 è un grafico illustrante il controllo di temperatura del substrato metallico al quale viene applicato un rivestimento ceramico graduato mediante il me-

todo della presente invenzione;

la Fig. 3 è un grafico illustrante la sollecitazione residua a temperatura ambiente tracciata come funzione della profondità del rivestimento in un rivestimento applicato mediante il metodo della presente invenzione;

la Fig. 4 è un grafico illustrante la caratteristica di temperatura priva di sollecitazione di un rivestimento ceramico applicato mediante il metodo della presente invenzione; e

la Fig. 5 è un grafico illustrante il rapporto tra sollecitazione e resistenza di un rivestimento ceramico applicato ad una guarnizione di tenuta all'aria esterna per turbina mediante il metodo della presente invenzione in condizione di accelerazione del motore al decollo al livello del mare, in condizione di decollo a livello del mare e in condizione di decelerazione al minimo.

Il procedimento della presente invenzione per applicare un rivestimento ceramico graduato ad un substrato metallico e la risultante struttura vengono illustrati rispetto ad una guarnizione di tenuta 10 all'aria esterna del tipo utilizzato in un motore a turbina a gas. Il substrato metallico 12 viene tipicamente fabbricato con una lega a base di nichel come la lega nota nell'industria delle turbine a gas come INCONEL 713, ed ha un rivestimento legato 14 di materiale metallico aderente ad esso. Un tipico materiale di rivestimento legante è la lega nichel-cromo-alluminio nota nell'industria delle turbine a gas come METCO 443.

Aderenti al rivestimento legato 14 vi sono uno o più interstrati di metallo e materiale ceramico graduati con composizione ceramica in aumento. In una forma di realizzazione a due interstrati, un primo interstrato 16 può per esempio essere una miscela di ossido di zirconio (ZrO_2) per quaranta percento in peso (40%) e materiale CoCrAlY per il sessanta percento in peso (60%). Il materiale CoCrAlY di una forma

di realizzazione efficace ha la composizione nominale: cromo 23,0% ; alluminio 13, 0%, ittrio 0,65% ed il resto essenzialmente cobalto. Il secondo interstrato 18 può per esempio essere una miscela di ossido di zirconio (ZrO_2) per l'ottantacinque per cento in peso (85%) e materiale CoCrAlY per il quindici per cento in peso (15%), il materiale CoCrAlY avendo la stessa composizione utilizzata nel primo strato. In tali forme di realizzazione, ciascun strato successivo di metallo e ceramico ha una proporzione maggiore di materiale ceramico rispetto allo strato precedente ed una proporzione minore di materiale ceramico rispetto allo strato che deve essere applicato successivamente.

Materiale ceramico al cento per cento (100%), cioè ossido di zirconio (ZrO_2) viene applicato sopra l'ultimo interstrato metallo-ceramico. In una forma preferita si utilizzano due strati di deposizione: un primo strato 20 di ceramica densa ed un secondo strato 22 di ceramico porosa. In pratica lo strato poroso è di densità diminuita e viene applicato come miscela di polveri di ossido di zirconio (ZrO_2) con una percentuale dal due e mezzo al dieci per cento in peso ($2\frac{1}{2}$ - 10%) di poliestere. Il poliestere viene rimosso successivamente alla deposizione per lasciare la superficie ceramica porosa. Il riscaldamento della guarnizione di tenuta all'aria esterna alla fabbricazione o sul posto durante il funzionamento viene utilizzato per cuocere il materiale poliestere via dalla ceramica. Le percentuali di poliestere all'esterno della gamma sopra riportata possono essere utilizzate per produrre una porosità corrispondentemente variata.

Lo scopo del materiale superficiale ceramico in una struttura di guarnizione di tenuta all'aria esterna è duplice: fornire una barriera termica, schermendo il substrato dai gas caldi del mezzo di lavoro della turbina ai quali il substrato sarebbe altrimenti esposto, e fornire una guarnizione abradibile che compensa le

escursioni termiche delle pale del rotore circoscritte senza interferenza di-
struttiva.

Durante il processo di rivestimento, la temperatura del substrato viene con-
trollata in un grado predeterminato per stabilire i tracciati di sollecitazione
e tensione residua nella guarnizione di tenuta fabbricata. Riscaldatori 24 del
substrato sono previsti per questo scopo. I rivestimenti stessi vengono applicati
mediante tecniche di spruzzatura al plasma convenzionali nell'industria. Una pistola
di spruzzatura al plasma 26 in cui le polveri od una miscela di polveri vengono
iniettate, viene fatta muovere trasversalmente in tracciati ripetuti attraverso
il substrato mentre il rivestimento viene formato fino alla profondità desiderata.
Una corrente di plasma 28 porta le polveri di rivestimento 30 alla superficie dello
articolo da rivestire. Le miscele di rivestimento vengono preferibilmente cambiate
in operazione continua. I cambiamenti nella temperatura del substrato vengono fatti
il più rapidamente possibile nelle zone di transizione, immediatamente prima, durante
od immediatamente dopo ciascun cambiamento della composizione di polvere.

Il ciclo di temperatura del substrato per rivestire il componente sopra descritto
viene mostrato nel grafico della Fig. 2. Gli strati di rivestimento con le temperature
di substrato iniziale e finale al deposito sono i seguenti:

<u>Strato di rivestimento</u>	<u>Profondità mm</u>	<u>Temp. iniziale</u>	<u>Temp. finale</u>
Rivestimento legante metalllico	\simeq 0,067	538°C	816°C
primo interstrato	\simeq 0,675	816°C	580°C
secondo interstrato	\simeq 0,675	663°C	607°C
ceramica densa	\simeq 0,675	657°C	543°C
ceramica porosa	\simeq 0,7875	543°C	482°C

Come osservabile sia nella tabella di cui sopra che nel grafico della Fig. 2,

ciascun interstrato di metallo e composizione ceramica viene applicato in condizioni variate di temperatura del substrato, ad una temperatura iniziale superiore alla temperatura alla deposizione finale dello strato precedente e ad una temperatura finale inferiore o eguale alla temperatura alla quale lo strato successivo deve essere inizialmente depositato. La temperatura del substrato alla deposizione finale di ciascun interstrato è anche inferiore alla temperatura del substrato alla deposizione iniziale di tale interstrato. Variazioni a passi nella temperatura in corrispondenza dell'interfaccia tra composizioni differenti sono ugualmente desiderate. Considerazioni pratiche in un procedimento di rivestimento continuo suggeriscono tuttavia una zona di transizione come appare in prossimità del cambiamento di composizione.

Il coefficiente inerentemente diverso di espansione termica tra substrati di tutto materiale ceramico e tutto metallo viene compensato graduando i rivestimenti ed inducendo una sollecitazione di compressione durante il deposito dello strato. La sollecitazione cumulativa riportata nel grafico della Fig. 3 è caratteristica di parti fabbricate mediante il presente metodo. Il grafico mostra la sollecitazione di compressione in aumento misurata in corrispondenza del retro del substrato mentre vengono fatti i cambiamenti incrementali nella profondità del rivestimento. La sollecitazione aumentante in modo uniforme undica la mancanza di severe discontinuità a qualsiasi profondità del rivestimento. Inversioni della sollecitazione se si verificassero apparirebbero come picchi o valli lungo la curva.

Come è stato discusso in precedenza, il rivestimento è atto ad avere una caratteristica priva di sollecitazione ad una temperatura prescelta. La temperatura priva di sollecitazione è intermedia tra la condizione fredda e la temperatura massima. La Fig. 4 illustra una struttura essenzialmente priva di sollecitazione ad una tempe-

ratura di approssimativamente 649°C. Valori di sollecitazione a varie profondità di rivestimento nei differenti materiali di composizione vengono tracciati. Quando la temperatura della struttura viene ridotta dalla temperatura priva di sollecitazione, il lato verso il substrato metallico della struttura tende verso la sollecitazione di tensione e il lato ceramico tende verso la sollecitazione di compressione. Quando la temperatura della struttura viene aumentata al di sopra della temperatura priva di sollecitazione, il lato del substrato metallico tende verso la sollecitazione di compressione ed il lato ceramico tende verso la sollecitazione di tensione.

La Fig. 5 è un grafico mostrante rapporti tra sollecitazione resistenza attraverso la sezione trasversale del rivestimento come funzione della condizione del motore. Le condizioni illustrate sono l'accelerazione fino al decollo al livello del mare (A); il decollo a livello del mare allo stato stazionario (B) e la deCELERazione al decollo al livello del mare al minimo (C). In tutte le condizioni il rapporto tra sollecitazione resistenza in ciascun strato di materiale rimane ben al di sotto di un rapporto di uno (1,0), al di sopra del quale si prevede l'avaria. Si evita una sollecitazione eccessiva indotta da sollecitazioni differenziali tra strati. L'effetto del controllo della temperatura del substrato e dei coefficienti differenti di espansione termica tra i materiali degli strati successivi vengono accoppiati per ottenere tale risultato.

Benché la presente invenzione sia stata mostrata e descritta rispetto a sue forme di realizzazione dettagliate, si comprenderà da parte delle persone esperte nella tecnica che varie modifiche nelle forme e nei dettagli di essa possono essere apportati senza discostarsi dall'ambito dell'invenzione rivendicata.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per applicare un rivestimento ceramico ad un substrato metallico includente l'applicazione di uno o più interstrati graduati di materiale metallico e ceramico tra il substrato metallico ed il rivestimento ceramico, caratterizzato dal perfezionamento di controllare la temperatura del substrato metallico durante le fasi di deposizione dell'interstrato e della ceramica in modo tale che la temperatura del substrato alla deposizione iniziale del materiale comprendente ciascun interstrato è maggiore o eguale della temperatura del substrato alla deposizione finale del materiale comprendente lo strato precedente, e tale che la temperatura del substrato alla deposizione finale del materiale comprendente detto interstrato è inferiore alla temperatura alla deposizione iniziale di tale interstrato è inferiore o eguale alla temperatura del substrato alla quale si deve applicare lo strato successivo.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto di includere inoltre l'operazione di applicare materiale ceramico sull'interstrato depositato ad una temperatura di substrato che è maggiore o eguale della temperatura alla quale si verifica la deposizione finale del materiale di interstrato.

3. Metodo secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che lo strato ceramico viene applicato in una pluralità di deposizioni fatte a temperatura diminuente del substrato metallico.

4. Metodo secondo le rivendicazioni 1, 2 o 3, caratterizzato dal fatto di includere l'operazione di depositare un rivestimento legante metallico al substrato metallico prima dell'operazione di applicare la deposizione iniziale di materiale graduato metallico e ceramico comprendente l'interstrato.

5. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 4 caratterizzato

dal fatto che lo strato ceramico viene applicato ad una prima densità e successivamente ad una seconda densità che è inferiore a detta prima densità.

6. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 o 5 caratterizzato dal fatto che il materiale comprendente gli interstrati metallici ceramici e gli strati ceramici viene applicato in un processo di rivestimento continuo ed in cui la temperatura del substrato alle variazioni di composizione del materiale viene variata durante il processo continuo in corrispondenza delle zone di transizione di breve durata.

7. Articolo rivestito in ceramico comprendente un substrato metallico, un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato iniziale, almeno un interstrato di composizione metallica e ceramica aderente a detto rivestimento legante ed uno strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati, caratterizzato dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

8. Guarnizione di tenuta all'aria esterna di un motore a turbina a gas comprendente: un substrato metallico un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato metallico; almeno un interstrato di composizione metallica ceramica aderente a detto rivestimento legante; un primo strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati metallici ceramici; ed un secondo strato ceramico aderente a detto primo strato ceramico ed avente una densità inferiore alla densità di detto primo strato ceramico, caratterizzata dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente come rappresentato dal grafico della Fig. 3, e priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

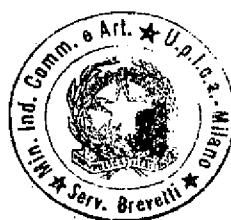
9. Articolo rivestito in ceramica fabbricato mediante il metodo delle riven-
dicazioni 1,2 o 3.

pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION

Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI
RICCARDI & CO. S.p.A.

[Handwritten signature]



[Handwritten signature]
l'Ufficiale Rogante
(Pietro Messina)

Timbro rotondo:

Ufficio Brevetti e Marchi degli Stati Uniti
Stanza Ricevimento Posta

Nº 330401

14 Dicembre 1981

DESCRIZIONE

METODO PER APPLICARE UN RIVESTIMENTO CERAMICO PRESOLLECITATO AD UN SUBSTRATO METALLICO ED ARTICOLO COSÌ OTTENUTO

Campo della tecnica

La presente invenzione riguarda un metodo per applicare un rivestimento ceramico ad un substrato metallico e rivestimenti ceramici di barriera termica, e particolarmente rivestimenti graduati da una composizione metallica ad una ceramica ottenuti nel realizzare tale metodo.

I concetti sono stati sviluppati nell'industria dei motori a turbina a gas per

l'uso nella fabbricazione di guarnizioni all'aria esterna della turbina, ma

hanno un'applicabilità più ampia sia entro tale industria che anche in altre.
Fondamento della tecnica

Nei moderni motori a turbina a gas, gas come mezzo di lavoro aventi temperature superiori a 1093°C vengono espansi attraverso file di palettature di turbina per l'estrazione di potenza dal mezzo fluente. Una cappa chiamata guarnizione di tenuta all'aria esterna circoscrive ciascuna fila di palettature di turbina per inibire la perdita dei gas del mezzo di lavoro sulle punte delle pale.

I rivestimenti ceramici graduati ed i metodi della loro applicazione descritti in questa relazione sono stati sviluppati per l'uso specifico in unione con le guarnizioni di tenuta all'aria esterna della turbina. Si ricercavano strutture durevoli capaci di un servizio affidabile a lungo termine nell'ambiente ostile della turbina. Le necessità specifiche sono una elevata capacità di resistenza alla temperatura ed una buona resistenza all'urto termico. Inoltre il materiale di tenuta deve avere una sufficiente abradibilità superficiale per impedire l'interferenza distruttiva al verificarsi di un contatto di strofinamento della guarnizione di tenuta da parte delle pale di rotore circoscritte.

I brevetti U.S.A. № 3.091.548 a nome Dillion dal titolo "Rivestimenti ad alta temperatura"; 3.817.719 a nome Schilke ed altri dal titolo "Materiale abradibile ad alta temperatura e metodo per preparare lo stesso"; 3.879.831 a nome Rigney ed altri dal titolo "Materiale abradibile ad alta temperatura a base di nichel"; 3.911.891 a nome Dowell dal titolo "Rivestimento per superfici metalliche e metodo per la sua applicazione"; 3.918.925 a nome McComas dal titolo "Guarnizione di tenuta abradibile"; 3.975.165 a nome Elbert ed altri dal titolo "Struttura graduata da metallica a ceramica per applicazioni di guarnizioni abradibili ad alta temperatura e metodo per produrre la stessa" e 4.109.031 a nome Marscher dal titolo

"Rilascio della sollecitazione in guarnizioni di tenuta metallo-ceramiche per turbine a gas" sono rappresentativi dei concetti noti applicabili alle guarnizioni di tenuta a rivestimento ceramico.

Come viene discussso in alcuni dei brevetti precedenti sopra citati ed in dettaglio particolare nel brevetto U.S.A. Nº 4.163.071 a nome Weatherly ed altri dal titolo "Metodo per formare rivestimenti duri e resistenza all'usura", la temperatura del substrato metallico al quale viene applicato il rivestimento ceramico può essere preriscaldata per controllare o la sollecitazione residua o la densità del rivestimento. In generale tale riscaldamento si effettuava ad una temperatura uniforme.

Benché molti dei materiali e dei metodi descritti nei brevetti sopra citati sono noti per essere altamente desiderabili, le strutture risultanti da essi dovevano ancora raggiungere un pieno potenziale particolarmente nelle applicazioni in ambienti ostili. Una notevole ricerca in materiali ancor più perfezionati e relativi metodi continua tutt'ora.

Descrizione dell'invenzione

Secondo la presente invenzione, strati graduati di metallo e materiale ceramico aventi composizione ceramica in aumento vengono applicati in sequenza ad un substrato metallico in condizioni di temperature variate del substrato, includendo la deposizione di uno o più strati ad una temperatura iniziale maggiore o eguale alla temperatura finale alla quale lo strato precedente era stato depositato, e una temperatura finale minore o eguale della temperatura alla quale lo strato successivo deve essere depositato.

Secondo un metodo dettagliato, gli strati graduati vengono applicati continuamente con variazioni nella composizione ceramica e metallo che vengono fatte senza interrompere il processo di rivestimento e variazioni nella temperatura del substrato

che vengono fatte in zone di transizione durante il processo di rivestimento.

Una caratteristica principale della presente invenzione è il controllo della mancanza di accoppiamento per sollecitazione termica. Il controllo della temperatura del substrato durante il processo di rivestimento stabilisce una caratteristica di temperatura nella parte rivestita alla quale il materiale entro la parte è essenzialmente privo di sollecitazione. La modulazione della temperatura del substrato non soltanto in corrispondenza di ogni strato successivo ma in posizione dello strato stesso di composizione uniforme, incorpora una distribuzione preferita di sollecitazione residua attraverso gli strati.

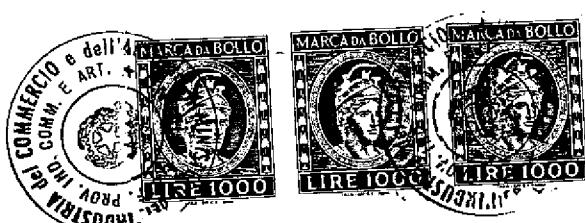
Un vantaggio principale della presente invenzione è il raggiungimento di rapporti sicuri tra sollecitazione e resistenza nel rivestimento. Rapporti sicuri vengono mantenuti attraverso tutta la gamma di temperature e di gradienti di temperatura ai quali la parte viene esposta durante il suo ciclo operativo. L'avarìa del rivestimento viene impedita anche in condizioni di temperatura che possono variare fino a 1093°C. Quando la parte viene inizialmente riscaldata in un ambiente operativo, le sollecitazioni di compressione residue nel materiale ceramico vengono rilasciate. Ulteriore riscaldamento induce sollecitazioni termiche di tensione nel materiale ceramico, ma non a tali valori che provocherebbero l'avarìa.

I precedenti scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione diverranno più chiari alla luce della seguente descrizione del miglior modo per realizzare l'invenzione stessa e dai disegni annessi i [redacted].

Breve descrizione dei disegni

la Fig. 1 è un'illustrazione semplificata del processo di rivestimento di una guarnizione di tenuta a superficie ceramica di un motore a turbina a gas;

la Fig. 2 è un grafico illustrante il controllo di temperatura del substrato metallico al quale viene applicato un rivestimento ceramico graduato mediante il me-



todo della presente invenzione;

la Fig. 3 è un grafico illustrante la sollecitazione residua a temperatura ambiente tracciata come funzione della profondità del rivestimento in un rivestimento applicato mediante il metodo della presente invenzione;

la Fig. 4 è un grafico illustrante la caratteristica di temperatura priva di sollecitazione di un rivestimento ceramico applicato mediante il metodo della presente invenzione; e

la Fig. 5 è un grafico illustrante il rapporto tra sollecitazione e resistenza di un rivestimento ceramico applicato ad una guarnizione di tenuta all'aria esterna per turbina mediante il metodo della presente invenzione in condizione di accelerazione del motore al decollo al livello del mare, in condizione di decollo a livello del mare e in condizione di decelerazione al minimo.

Il procedimento della presente invenzione per applicare un rivestimento ceramico graduato ad un substrato metallico e la risultante struttura vengono illustrati rispetto ad una guarnizione di tenuta 10 all'aria esterna del tipo utilizzato in un motore a turbina a gas. Il substrato metallico 12 viene tipicamente fabbricato con una lega a base di nichel come la lega nota nell'industria delle turbine a gas come INCONEL 713, ed ha un rivestimento legato 14 di materiale metallico aderente ad esso. Un tipico materiale di rivestimento legante è la lega nichel-cromo-alluminio nota nell'industria delle turbine a gas come METCO 443.

Aderenti al rivestimento legato 14 vi sono uno o più interstrati di metallo e materiale ceramico graduati con composizione ceramica in aumento. In una forma di realizzazione a due interstrati, un primo interstrato 16 può per esempio essere una miscela di ossido di zirconio (ZrO_2) per quaranta percento in peso (40%) e materiale CoCrAlY per il sessanta percento in peso (60%). Il materiale CoCrAlY di una forma

di realizzazione efficace ha la composizione nominale: cromo 23,0% ; alluminio 13, 0%, ittrio 0,65% ed il resto essenzialmente cobalto. Il secondo interstrato 18 può per esempio essere una miscela di ossido di zirconio (ZrO_2) per l'ottantacinque percento in peso (85%) e materiale CoCrAlY per il quindici percento in peso (15%), il materiale CoCrAlY avendo la stessa composizione utilizzata nel primo strato. In tali forme di realizzazione, ciascun strato successivo di metallo ceramico ha una proporzione maggiore di materiale ceramico rispetto allo strato precedente ed una proporzione minore di materiale ceramico rispetto allo strato che deve essere applicato successivamente.

Materiale ceramico al cento percento (100%), cioè ossido di zirconio (ZrO_2) viene applicato sopra l'ultimo interstrato metallo-ceramico. In una forma preferita si utilizzano due strati di deposizione: un primo strato 20 di ceramica densa ed un secondo strato 22 di ceramico porosa. In pratica lo strato poroso è di densità diminuita e viene applicato come miscela di polveri di ossido di zirconio (ZrO_2) con una percentuale dal due e mezzo al dieci percento in peso ($2\frac{1}{2}$ - 10%) di poliestere. Il poliestere viene rimosso successivamente alla deposizione per lasciare la superficie ceramica porosa. Il riscaldamento della guarnizione di tenuta all'aria esterna alla fabbricazione o sul posto durante il funzionamento viene utilizzato per cuocere il materiale poliestere via dalla ceramica. Le percentuali di poliestere all'esterno della gamma sopra riportata possono essere utilizzate per produrre una porosità corrispondentemente variata.

Lo scopo del materiale superficiale ceramico in una struttura di guarnizione di tenuta all'aria esterna è duplice: fornire una barriera termica, schermendo il substrato dai gas caldi del mezzo di lavoro della turbina ai quali il substrato sarebbe altrimenti esposto, e fornire una guarnizione abradibile che compensa le

escursioni termiche delle pale del rotore circoscritte senza interferenza di-
struttiva.

Durante il processo di rivestimento, la temperatura del substrato viene con-
trollata in un grado predeterminato per stabilire i tracciati di sollecitazione
e tensione residua nella guarnizione di tenuta fabbricata. Riscaldatori 24 del
substrato sono previsti per questo scopo. I rivestimenti stessi vengono applicati
mediante tecniche di spruzzatura al plasma convenzionali nell'industria. Una pistola
di spruzzatura al plasma 26 in cui le polveri od una miscela di polveri vengono
iniettate, viene fatta muovere trasversalmente in tracciati ripetuti attraverso
il substrato mentre il rivestimento viene formato fino alla profondità desiderata.
Una corrente di plasma 28 porta le polveri di rivestimento 30 alla superficie dello
articolo da rivestire. Le miscele di rivestimento vengono preferibilmente cambiate
in operazione continua. I cambiamenti nella temperatura del substrato vengono fatti
il più rapidamente possibile nelle zone di transizione, immediatamente prima, durante
od immediatamente dopo ciascun cambiamento della composizione di polvere.

Il ciclo di temperatura del substrato per rivestire il componente sopra descritto
viene mostrato nel grafico della Fig. 2. Gli strati di rivestimento con le temperature
di substrato iniziale e finale al deposito sono i seguenti:

<u>Strato di rivestimento</u>	<u>Profondità mm</u>	<u>Temp. iniziale</u>	<u>Temp. finale</u>
Rivestimento legante metalllico	\simeq 0,067	538°C	816°C
primo interstrato	\simeq 0,675	816°C	580°C
secondo interstrato	\simeq 0,675	663°C	607°C
ceramica densa	\simeq 0,675	657°C	543°C
ceramica porosa	\simeq 0,7875	543°C	482°C

Come osservabile sia nella tabella di cui sopra che nel grafico della Fig. 2,

ciascun interstrato di metallo e composizione ceramica viene applicato in condizioni variate di temperatura del substrato, ad una temperatura iniziale superiore alla temperatura alla deposizione finale dello strato precedente e ad una temperatura finale inferiore o eguale alla temperatura alla quale lo strato successivo deve essere inizialmente depositato. La temperatura del substrato alla deposizione finale di ciascun interstrato è anche inferiore alla temperatura del substrato alla deposizione iniziale di tale interstrato. Variazioni a passi nella temperatura in corrispondenza dell'interfaccia tra composizioni differenti sono ugualmente desiderate. Considerazioni pratiche in un procedimento di rivestimento continuo suggeriscono tuttavia una zona di transizione come appare in prossimità del cambiamento di composizione.

Il coefficiente inerentemente diverso di espansione termica tra substrati di tutto materiale ceramico e tutto metallo viene compensato graduando i rivestimenti ed inducendo una sollecitazione di compressione durante il deposito dello strato. La sollecitazione cumulativa riportata nel grafico della Fig. 3 è caratteristica di parti fabbricate mediante il presente metodo. Il grafico mostra la sollecitazione di compressione in aumento misurata in corrispondenza del retro del substrato mentre vengono fatti i cambiamenti incrementali nella profondità del rivestimento. La sollecitazione aumentante in modo uniforme undica la mancanza di severe discontinuità a qualsiasi profondità del rivestimento. Inversioni della sollecitazione se si verificassero apparirebbero come picchi o valli lungo la curva.

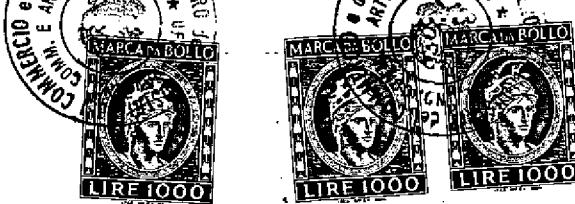
Come è stato discusso in precedenza, il rivestimento è atto ad avere una caratteristica priva di sollecitazione ad una temperatura prescelta. La temperatura priva di sollecitazione è intermedia tra la condizione fredda e la temperatura massima. La Fig. 4 illustra una struttura essenzialmente priva di sollecitazione ad una tempe-

• ratura di approssimativamente 649°C. Valori di sollecitazione a varie profondità di rivestimento nei differenti materiali di composizione vengono tracciati. Quando la temperatura della struttura viene ridotta dalla temperatura priva di sollecitazione, il lato verso il substrato metallico della struttura tende verso la sollecitazione di tensione e il lato ceramico tende verso la sollecitazione di compressione. Quando la temperatura della struttura viene aumentata al di sopra della temperatura priva di sollecitazione, il lato del substrato metallico tende verso la sollecitazione di compressione ed il lato ceramico tende verso la sollecitazione di tensione.

La Fig. 5 è un grafico mostrante rapporti tra sollecitazione resistenza attraverso la sezione trasversale del rivestimento come funzione della condizione del motore. Le condizioni illustrate sono l'accelerazione fino al decollo al livello del mare (A); il decollo a livello del mare allo stato stazionario (B) e la decelerazione al decollo al livello del mare al minimo (C). In tutte le condizioni il rapporto tra sollecitazione resistenza in ciascun strato di materiale rimane ben al di sotto di un rapporto di uno (1,0), al di sopra del quale si prevede l'avaria. Si evita una sollecitazione eccessiva indotta da sollecitazioni differenziali tra strati. L'effetto del controllo della temperatura del substrato e dei coefficienti differenti di espansione termica tra i materiali degli strati successivi vengono accoppiati per ottenere tale risultato.

• Benché la presente invenzione sia stata mostrata e descritta rispetto a sue forme di realizzazione dettagliate, si comprenderà da parte delle persone esperte nella tecnica che varie modifiche nelle forme e nei dettagli di essa possono essere apportati senza discostarsi dall'ambito dell'invenzione rivendicata.

RIVENDICAZIONI



1. Metodo per applicare un rivestimento ceramico ad un substrato metallico includente l'applicazione di uno o più interstrati graduati di materiale metallico e ceramico tra il substrato metallico ed il rivestimento ceramico, caratterizzato dal perfezionamento di controllare la temperatura del substrato metallico durante le fasi di deposizione dell'interstrato e della ceramica in modo tale che la temperatura del substrato alla deposizione iniziale del materiale comprendente ciascun interstrato è maggiore o eguale della temperatura del substrato alla deposizione finale del materiale comprendente lo strato precedente, e tale che la temperatura del substrato alla deposizione finale del materiale comprendente detto interstrato è inferiore alla temperatura alla deposizione iniziale di tale interstrato e inferiore o eguale alla temperatura del substrato alla quale si deve applicare lo strato successivo.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto di includere inoltre l'operazione di applicare materiale ceramico sull'interstrato depositato ad una temperatura di substrato che è maggiore o eguale della temperatura alla quale si verifica la deposizione finale del materiale di interstrato.

3. Metodo secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che lo strato ceramico viene applicato in una pluralità di deposizioni fatte a temperatura diminuente del substrato metallico.

4. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 2 a 3 caratterizzato dal fatto che lo strato ceramico applicato ad una prima densità e successivamente ad una seconda densità che è inferiore a detta prima densità.

5. Metodo secondo le rivendicazioni 1, 2 o 3, caratterizzato dal fatto di includere l'operazione di depositare un rivestimento legante metallico al substrato metallico prima dell'operazione di applicare la deposizione iniziale di materiale graduato metallico e ceramico comprendente l'interstrato.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5 in cui *lo*
del ~~tallo~~ che lo strato ceramico viene applicato ad una prima densità e successi-
vamente ad una seconda densità che è inferiore a detta prima densità.

8. Articolo rivestito in ceramico comprendente un substrato metallico, un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato iniziale, almeno un interstrato di composizione metallica e ceramica aderente a detto rivestimento legante ed uno strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati, caratterizzato dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

9. Articolo rivestito in ceramico comprendente un substrato metallico, un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato iniziale, almeno un interstrato di composizione metallica e ceramica aderente a detto rivestimento legante ed uno strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati, caratterizzato dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

10. Articolo rivestito in ceramico comprendente un substrato metallico, un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato iniziale, almeno un interstrato di composizione metallica e ceramica aderente a detto rivestimento legante ed uno strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati, caratterizzato dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

11. Articolo rivestito in ceramico comprendente un substrato metallico, un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato iniziale, almeno un interstrato di composizione metallica e ceramica aderente a detto rivestimento legante ed uno strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati, caratterizzato dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

12. Guarnizione di tenuta all'aria esterna di un motore a turbina a gas comprendente: un substrato metallico un rivestimento legante metallico aderente a detto substrato metallico; almeno un interstrato di composizione metallica ceramica aderente a detto rivestimento legante; un primo strato ceramico aderente all'ultimo di detti interstrati metallici ceramici; ed un secondo strato ceramico aderente a detto primo strato ceramico ed avente una densità inferiore alla densità di detto primo strato ceramico, caratterizzata dal fatto che detto articolo rivestito in ceramica ha una caratteristica di sollecitazione sostanzialmente come rappresentato dal grafico della Fig. 3, e priva di inversioni della sollecitazione attraverso la profondità del rivestimento.

13. Articolo rivestito in ceramica fabbricato mediante il metodo delle rivendicazioni 1, 2 o 3.

METODO PER APPLICARE UN RIVESTIMENTO CERAMICO PRESOLLECITATO AD UN SUBSTRATO METALLICO ED ARTICOLO COSÌ OTTENUTO

R I A S S U N T O

Vengono descritti una struttura rivestita con materiale ceramico graduato e metodi per l'applicazione del rivestimento. Vengono discusse tecniche per mantenere bassi rapporti tra sollecitazione e resistenza attraverso la profondità del rivestimento. In una struttura particolare il rivestimento viene applicato ad un substrato metallico (12) e comprende un rivestimento di legante metallico (14), un primo interstrato (16) di metallo e materiale ceramico, un secondo interstrato (18) di metallo e materiale ceramico avente una proporzione aumentata di materiale ceramico ed uno strato tutto ceramico. La modulazione della temperatura del substrato metallico durante il processo di rivestimento stabilisce un tracciato di sollecitazione residua desiderato nella parte trattata.

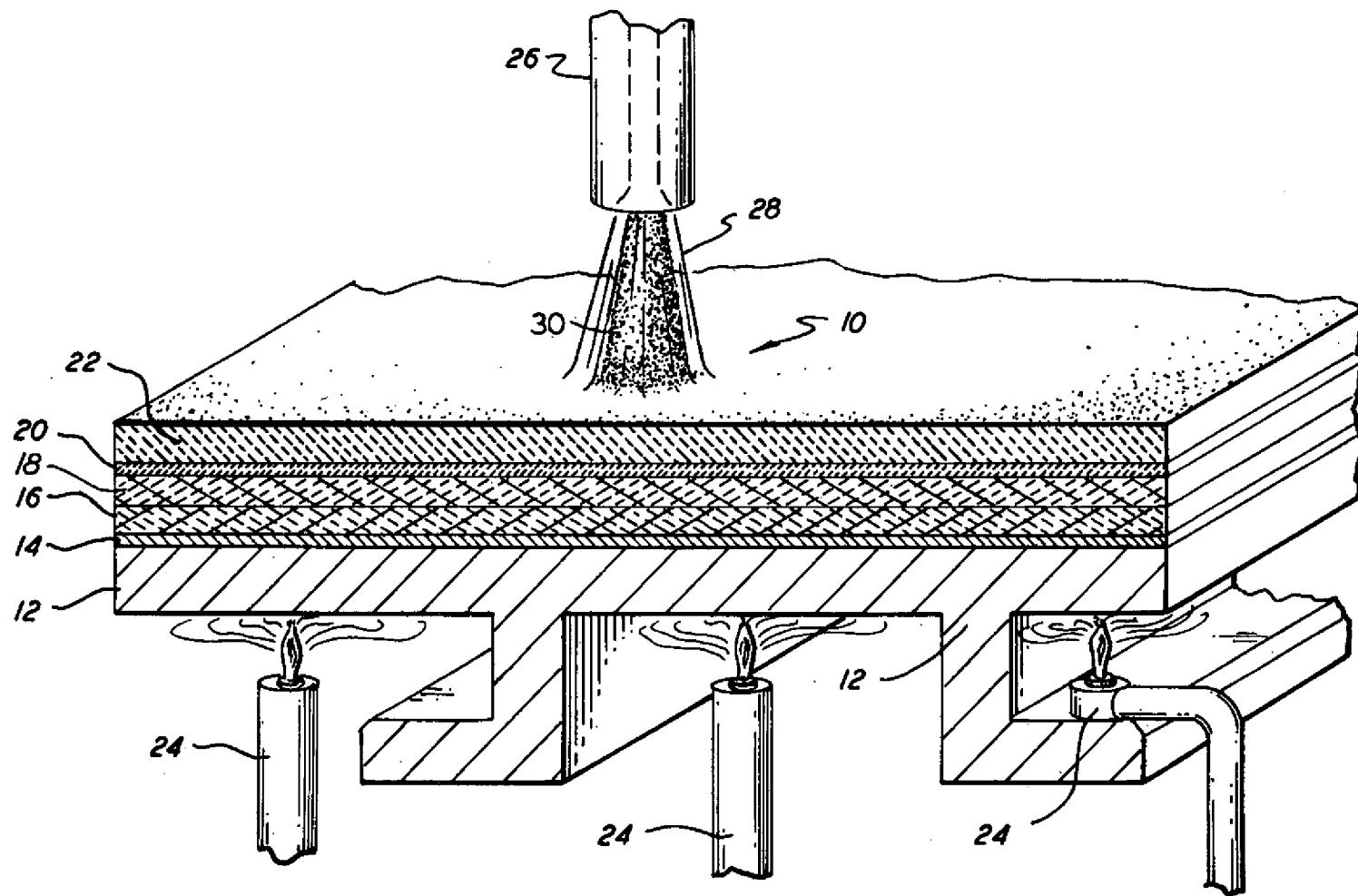


FIG. 1

pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI
RICCARDO & CO. S.R.L.



l'Ufficio Rogante
(Pietro Messineo)

TAV. II

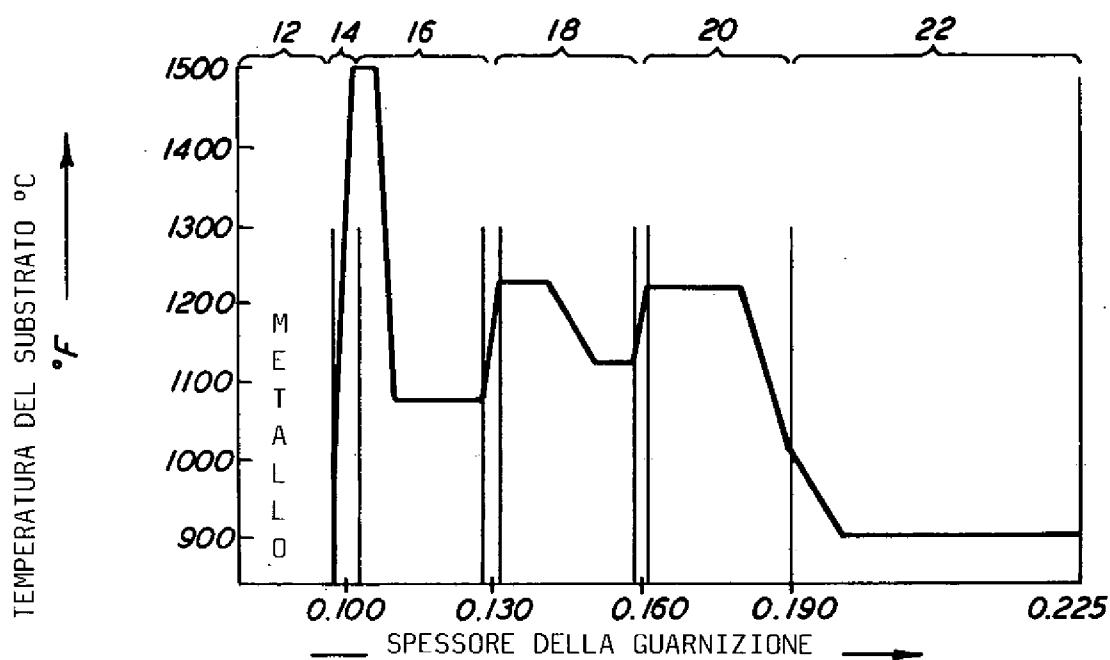


FIG. 2

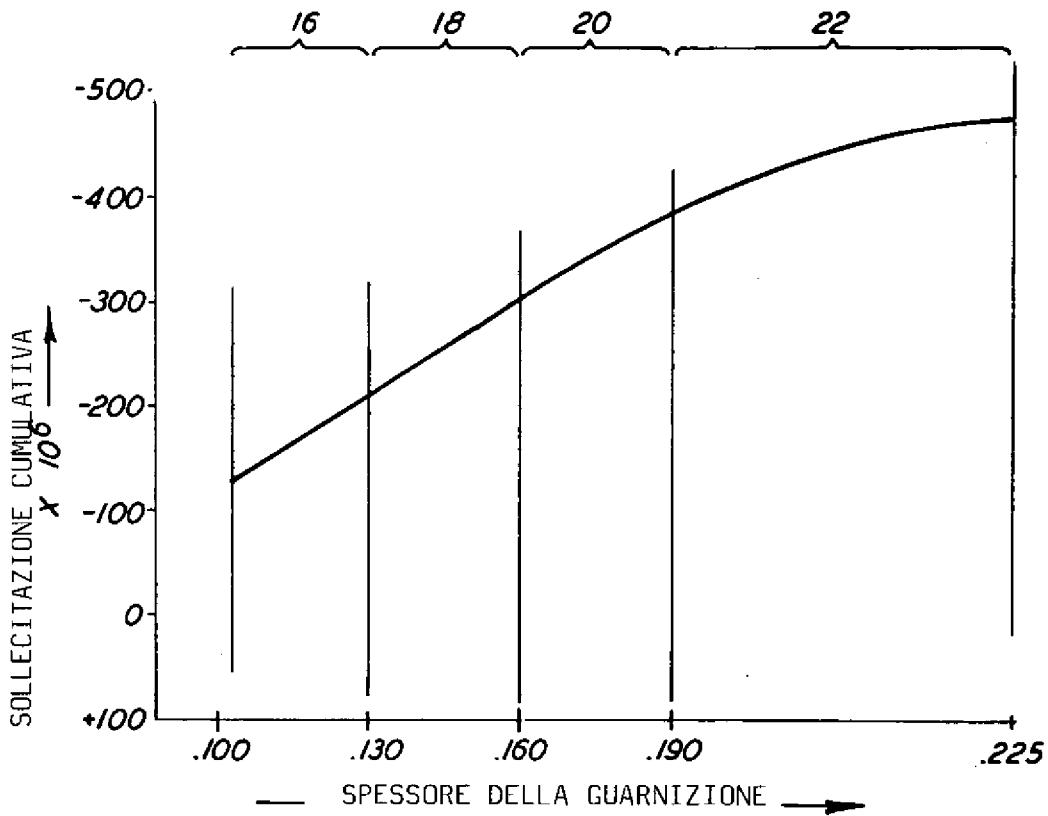


FIG. 3



Istituto Nazionale
di Ricerca per le
Applicazioni della
Scienza e della
Tecnica
I.N.R.I.S.T.

pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
Società dello Stato del Delaware
UFFICIO BREVETTI
RICCARDI & CO. S.R.L.

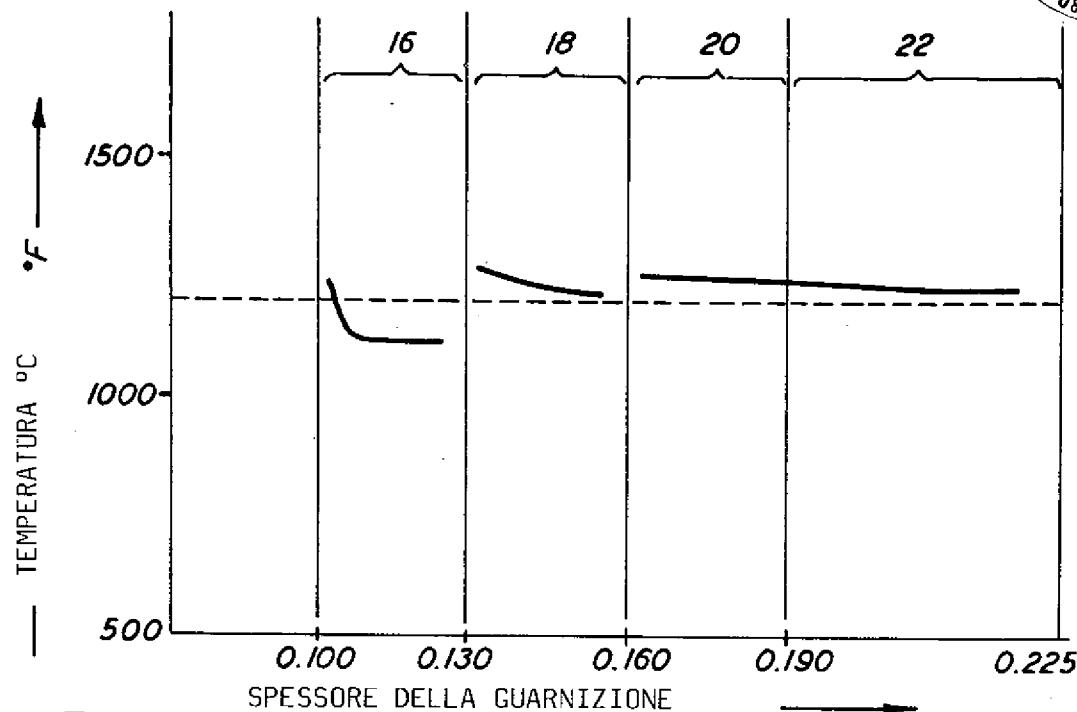


FIG. 4

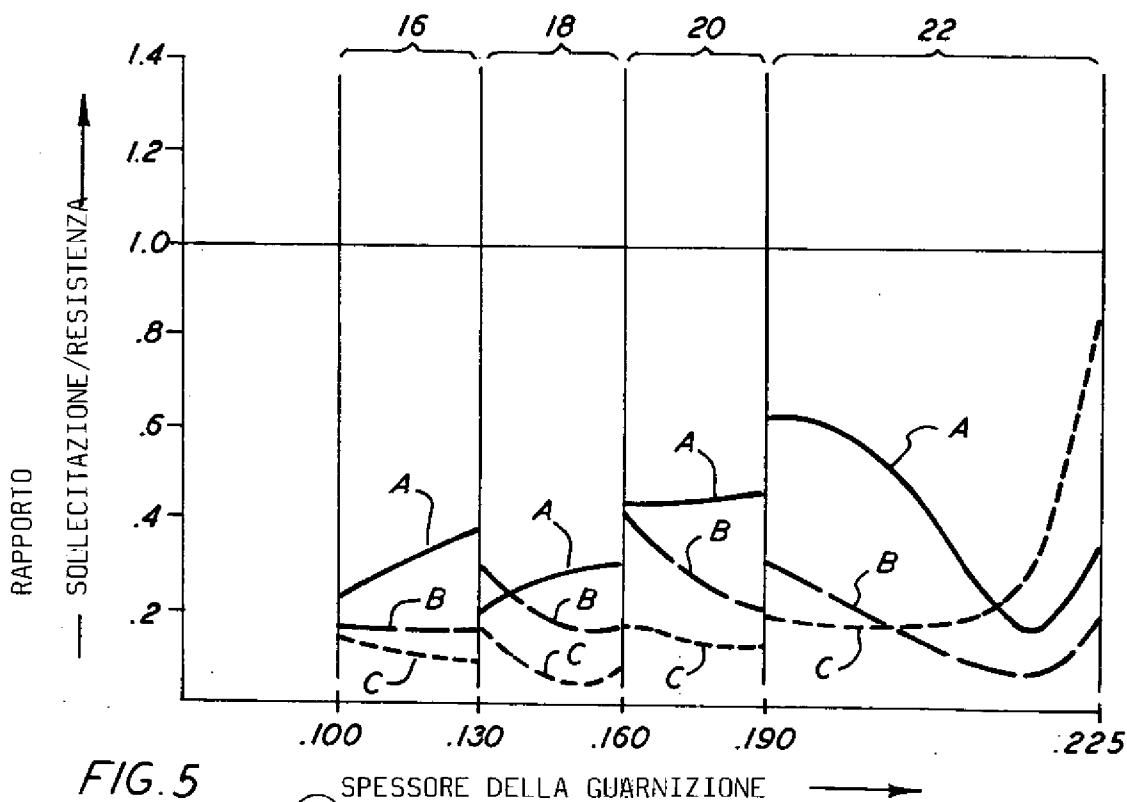


FIG. 5



I'Ufficio Rogante
(Pietro Maggiore)

pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI
RICCARDO & CO. S.R.L.