



Ministero delle Imprese e del Made in Italy
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHE

UIBM

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	101989900092885
Data Deposito	04/12/1989
Data Pubblicazione	04/06/1991

Priorità	307.713
Nazione Priorità	US
Data Deposito Priorità	

Classifiche IPC

Titolo

SPRUZZAMENTO DI PLASMA A LASER A FLUSSO ASSIALE

DESCRIZIONE

dell'invenzione industriale avente per titolo:

Spruzzamento di plasma a laser a flusso assiale.

a nome: GENERAL ELECTRIC COMPANY

di nazionalità: statunitense

con sede a: SCHENECTADY NEW YORK USA

Inventori designati: ERIC JAMES WHITNEY

VANON DAVID PRATT

WILBURN DOUGLAS SCHEIDT

WILLIAM ROLLIN YOUNG

Domanda No.:

Depositata il:

22604A/89

RIASSUNTO

Un apparato spruzzatore di plasma a laser per depositare un materiale di apporto su un substrato contiene un ugello avente una camera di confinamento di plasma entro il quale viene focalizzato un fascio laser, il punto focale essendo ad una distanza sufficientemente lontana dal substrato in modo che il substrato non venga fuso. Del materiale di apporto finemente suddiviso in una corrente di gas viene inviato assialmente nella camera di confinamento lungo la direzione del fascio laser e fuso nel plasma formato nell'interazione del fascio laser con il materiale

di apporto e il gas al punto focale. Il materiale di apporto fuso viene quindi diretto per depositarsi sul substrato, mentre l'energia del plasma è largamente confinata nell'apparato dalla camera di confinamento e da un restringimento nel percorso di flusso a monte della camera di confinamento.

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Questa invenzione riguarda fusione, vaporizzazione e spruzzamento di materiali e, più particolarmente, spruzzamento indotto da riscaldamento laser.

In parecchi sistemi di materiali moderni, è necessario aggiungere strati di un materiale ad un substrato esistente. In alcune circostanze, un rivestimento di un materiale duro resistente all'usura è sovrapposto ad un forte materiale duttile. Il composito risultante fornisce un componente strutturale che ha buone proprietà meccaniche, come robustezza, duttilità e resistenza alla frattura e anche una superficie che non si usura rapidamente in ambienti che siano erosivi e/o corrosivi. In un'altra applicazione, una parte può essere riparata aggiungendo al substrato un nuovo materiale della medesima

composizione del substrato, formando gradualmente uno spessore di materiale aggiunto per sostituire quello che è stato perso durante il funzionamento. Parecchi altre applicazioni di rivestimento sono in largo uso, a causa della versatilità consentita nel progettare sistemi di materiali su ordinazione.

Gli strati del materiale possono essere aggiunti al substrato in parecchi modi differenti, in dipendenza del substrato, del materiale aggiunto e delle prestazioni richieste. Il materiale aggiunto può essere fornito in massa e laminato, unito o fissato al substrato. Alternativamente, il materiale da aggiungere può essere fornito in una forma differente dalla sua configurazione finale e applicato al substrato atomicamente, spesso in stato fuso o gassoso. In parecchi casi, l'ultimo tipo di soluzione è preferita per produrre un eccellente legame del materiale aggiunto al substrato e per ottenere un prodotto finale altamente controllabile.

In una soluzione largamente praticata, si forma un plasma con una arco elettrico. Del metallo in polvere in una corrente gassosa viene diretto attraverso il plasma, obbligando il metallo a

fondere, almeno in parte. Il metallo fuso viene quindi spruzzato contro un substrato per solidificarsi come un rivestimento o strato accresciuto. Spruzzamento a plasma e altre simili tecniche non sono pratiche per alcuni metalli, come, per esempio, leghe di titanio spruzzate in ambiente atmosferico. Quando fatta nel vuoto, la tecnica diventa costosa.

Sono state proposte tecniche alternative basate sull'uso di un laser come sorgente di energia. Per esempio, i brevetti USA No. 4.200.669 e 4.724.299, le cui descrizioni si considerano qui incorporate per riferimento, hanno fornito procedimenti e apprati ritenuti efficaci nel fondere materiali polverizzati e nel depositarli sul substrato. L'esperienza ha mostrato, tuttavia, che queste soluzioni sono inefficaci nel depositare materiale di apporto ad alta velocità sul substrato. Tuttavia, è stata stabilita la vitalità fondamentale della sorgente di riscaldamento a laser.

C'è perciò una necessità di un apparato che utilizzi una sorgente di riscaldamento a laser per la deposizione a plasma di un materiale di apporto finemente suddiviso e che ottenga alte velocità e

rese di deposizione. Tale apparato dovrebbe essere controllabile e versatile. La presente invenzione soddisfa questa necessità e fornisce inoltre i vantaggi relativi.

La presente invenzione fornisce un apparato e un procedimento di spruzzamento a plasma mediante laser e permette alte velocità e rese di deposizione di particelle finemente suddivise di una larga gamma di materiali di apporto. L'apparato è controllabile su una larga gamma di velocità di deposizione, di grado di riscaldamento del substrato e di materiali. Le dimensioni (larghezza e spessore) dello strato depositato sono controllabili regolando i parametri del laser e di funzionamento come altezza di ugello, portata di alimentazione di polvere, velocità di attraversamento della parte, portata di gas e configurazione di ugello.

Secondo l'invenzione, un apparato di spruzzamento a plasma mediante laser comprende un laser; un sistema ottico configurato per focalizzare il fascio del laser in un volume di interazione, il punto focale del laser essendo al di sopra della superficie del substrato in modo che il fascio sia divergente quando urta il substrato; mezzi per

fornire materiale di apporto e un flusso di gas al volume di interazione, nel quale durante il funzionamento si forma un plasma e almeno una porzione del materiale di apporto viene fusa; e mezzi per confinare parzialmente il plasma e il materiale di apporto fuso e per dirigere il plasma e il materiale di apporto fuso verso il substrato. E' stato trovato necessario confinare il plasma formato al punto focale del fascio laser allo scopo di ottenere alte velocità e rese di deposizione. Se il plasma non è confinato, il plasma si espande lateralmente all'esterno e riduce sostanzialmente la resa di deposizione e la densità del deposito. Uno spruzzamento a plasma mediante laser differisce da una saldatura a plasma (o a buco di chiave) in quanto il fascio del laser è sufficientemente sfocalizzato così che il substrato non sia fuso nello spruzzamento a plasma mediante laser, mentre le regioni superficiali del substrato sono fuse dal fascio laser in saldatura a plasma. La saldatura a plasma porta a molto maggior calore e conseguente fusione del substrato, con il materiale di apporto fornito alla pozza di saldatura piuttosto che fuso e quindi depositato su una superficie non fusa. Al

contrario, in spruzzatura a plasma mediante laser, il punto focale del laser e la porzione centrale del plasma sono mantenuti ad una distanza sufficientemente grande dalla superficie del substrato che il substrato non viene fuso. Il punto focale del laser nell'apparato di spruzzamento a plasma mediante laser è di solito mantenuto ad una distanza da 25,4 a 152 mm (da 1 a 6 pollici) dal substrato, riducendo il riscaldamento del substrato ed evitando completamente fusione del substrato.

In una realizzazione utilizzante un ugello con una camera di conferimento, l'apparato di spruzzamento a plasma mediante laser comprende un ugello avente una custodia esterna troncoconica, una custodia interna troncoconica di dimensioni minori della custodia esterna ed infilata in quella con gli assi troncoconici delle custodie esterna ed interna coincidenti, la custodia esterna e la custodia interna definendo un passaggio anulare tra le medesime e un prolungamento cilindrico cavo della custodia esterna avente il suo asse cilindrico coincidente con gli assi troncoconici delle custodie esterne ed interne, il prolungamento cilindrico formando una camera di

confinamento di plasma; un laser; un sistema ottico configurato per dirigere il fascio del laser lungo l'asse troncoconico delle custodie esterne ed interne ad un punto focale nell'interno del prolungamento cilindrico; un sistema di rifornimento di gas comunicante con l'interno della custodia interna, creando un flusso di gas formatore di plasma dalla custodia interna verso il prolungamento cilindrico e un sistema di apporto comunicante con il passaggio anulare tra la custodia interna e la custodia esterna e adatto ad introdurre in quello un flusso di materiale di apporto finemente suddiviso mescolato con un gas portatore.

In questa realizzazione, una corrente fluidizzata di polvere viene introdotta nell'ugello entro l'anello tra la custodia interna e la custodia esterna. Una corrente separata di gas lungo l'asse della custodia spazza la polvere nella camera di confinamento del prolungamento cilindrico, dove il fascio laser è focalizzato. L'interazione dei gas, della polvere e dell'energia del fascio laser crea un plasma, che quindi diventa una sorgente di energia radiante indipendentemente ed autosostenuta. Una parte della polvere è fusa e

contribuisce direttamente al mantenimento del plasma, una parte della polvere viene fusa per formare goccioline e un'altra parte della polvere può rimanere intenzionalmente o non intenzionalmente solida. La camera di confinamento e i flussi di gas impediscono al plasma e al materiale di apporto fuso di espandersi longitudinalmente o indietro verso il laser, in modo che la sola direzione di erogazione è esternamente dall'ugello verso il substrato. Il flusso continuo di gas lungo l'asse aiuta anche nello spingere il materiale di apporto fuso verso il substrato.

Come precedentemente notato, questa soluzione di spruzzamento a plasma mediante laser sarebbe chiaramente distinta dalla saldatura a laser, che capita quando il punto focale del fascio laser è così vicino al substrato e di potenza così alta che la superficie del substrato fonde. Il punto focale del laser è esterno all'apparato in saldatura a laser per riscaldare direttamente e fondere il substrato in modo che qualsiasi materiale di apporto, se usato, possa essere aggiunto direttamente alla pozza di saldatura. In spruzzamento a plasma mediante laser, la sorgente

principale di riscaldamento per fondere il materiale di apporto è confinata entro l'apparato, come in convenzionale spruzzatura a plasma mediante arco elettrico, e il metallo fuso è spinto verso il substrato. Il substrato non viene riscaldato direttamente dal laser, eccetto che casualmente nel grado in cui parte dell'energia laser passa attraverso e non viene assorbita dal plasma e perciò raggiunge il substrato in uno stato grandemente sfocalizzato avendo una bassa densità di energia di fascio. Il plasma può sporgere fuori dall'interno dell'apparato ad una distanza sotto la forza dei gas scorrenti formatori di plasma ma non è sufficientemente interno alla superficie del substrato per provocare fusione. Uno spruzzamento di plasma a laser offre il vantaggio altamente significativo di essere capace di depositare il materiale di apporto sul substrato, senza alterare indebitamente la microstruttura metallurgica sul substrato.

Più particolarmente, rispetto alla realizzazione preferita, l'apparato di spruzzamento a plasma mediante laser comprende un laser configurato per focalizzare il fascio del laser in un volume

interno; una camera di confinamento a plasma entro il quale è posizionato il volume di interazione, avente una parete laterale di confinamento, una camera di apporto di polvere tra il laser e la parete di confinamento e una gola di dimensioni ristrette tra la parete di confinamento e la camera di apporto di polvere, attraverso la quale il fascio laser passa per raggiungere il punto focale del laser; un sistema di rifornimento di polvere che fornisce materiale di apporto in polvere alla camera di apporto di polvere in una corrente di gas portatore; e un sistema di rifornimento di gas che muove la polvere dalla camera di apporto di polvere alla camera di confinamento e una corrente di gas formatore di plasma.

In questa realizzazione, una gola tra la parete di confinamento e la camera di apporto di polvere aiuta nel confinare il plasma e distribuire la polvere quando viene fornita alla camera di confinamento. Un confinamento contro il ritorno di plasma nell'apparato dipende meno dal valore di flusso del gas, consentendo maggiore flessibilità nel controllo dei flussi del gas fluidizzante e del gas di flusso assiale.

La presente invenzione si estende anche ad un processo per spruzzatura a plasma mediante laser. In questo aspetto, un processo per depositare uno strato di materiale di apporto su un substrato comprende le fasi di fornire un laser avente un punto focale al di sopra della superficie del substrato, il punto focale essendo sufficientemente distante dalla superficie del substrato che il substrato non venga fuso; formare un plasma nella regione del punto focale del laser; aggiungere un materiale di apporto finemente suddiviso al plasma per fondere almeno una porzione del materiale di apporto e dirigere il materiale di apporto fuso verso il substrato. Di preferenza, il processo contiene anche la fase addizionale di fornire una camera di confinamento attorno al punto focale del laser, la camera di confinamento avendo una parete laterale con estremi aperti che consente al fascio laser di entrare da un estremo ed emergere dall'altro estremo.

L'apparato di spruzzamento a plasma a flusso assiale dell'invenzione fornisce un progresso importante nella tecnica dei procedimenti di deposizione. Un plasma viene generato

nell'apparato di deposizione per fondere il materiale di apporto, in modo che il materiale di apporto fuso venga depositato su una superficie solida di un substrato non fuso. Il plasma è controllabile, ma è mantenuto ad una distanza alla quale il substrato non è fuso. Altre caratteristiche e pregi dell'invenzione saranno evidenti dalla seguente descrizione maggiormente dettagliata della realizzazione preferita, presa in considerazione con gli allegati disegni che illustrano, come esempio, i principi dell'invenzione.

La figura 1 è una vista in elevazione dell'apparato dell'invenzione;

la figura 2 è una vista laterale in sezione di una porzione dell'apparato di deposizione di figura 1.

La presente invenzione è incorporata in un apparato di spruzzamento a plasma mediante laser 100 illustrato generalmente in figura 1. L'apparato 100 comprende un laser 102 avente un fascio che, quando focalizzato da un sistema ottico 104, è di sufficiente densità di potenza per formare un plasma e fondere un apporto di materiale finemente suddiviso. Il fascio del laser 102, avente un asse di fascio 106, è focalizzato

in modo convergente dal sistema ottico 104 e quindi entra in un ugello di spruzzamento 108, la cui struttura e funzionamento sono descritti in maggior dettaglio qui sotto. Nell'ugello 108, si forma un plasma e il materiale di apporto viene qui fuso. Il materiale di apporto è emesso come uno spruzzo 110 per formare uno strato di deposito 112 su un substrato 114. Il plasma è contenuto largamente entro l'ugello 108 e la superficie del substrato non è fusa. La distanza di funzionamento dalla sommità dell'ugello 108 al substrato 114 è tipicamente da 25,4 a 152 mm (da 1 a 6 pollici). Lo spruzzo 110 può essere stretto e fortemente unidirezionale, in modo che il cordone 112 abbia approssimativamente la larghezza dell'apertura di emissione 116 alla sommità dell'ugello 108.

Considerando la figura 2, l'ugello 108 contiene una custodia esterna 118 che è impegnata a vite all'estremo del sistema ottico 104, consentendo alla custodia esterna 118 di essere mossa in modo regolabile verso e via dal laser 102. La superficie esterna della custodia esterna 118 è generalmente di forma cilindrica. La superficie interna della custodia esterna 118 contiene una superficie troncoconica 120 al suo estremo.

Disposta entro la custodia esterna 118 e impegnata a vite alla medesima c'è una custodia interna 122. Le custodie 118 e 122 sono entrambe cave, con il medesimo asse centrale che coincide con l'asse di fascio 106. La superficie esterna della custodia interna 122 contiene una superficie troncoconica 124 al suo estremo. Le due superfici troncoconiche 120 e 124 sono in relazione generalmente affacciate tra di loro, definendo un passaggio anulare 126 tra le medesime. Un movimento assiale relativo della custodia interna 122 e della custodia esterna 124 allarga o riduce l'area del passaggio anulare 126.

Unita all'estremo della custodia esterna 118 c'è una camera di confinamento 128. La camera di confinamento 128 è di preferenza di forma cilindrica ed è formata da una costruzione a parete cava in modo che dell'acqua di raffreddamento possa essere fatta circolare attraverso il suo interno da tubazioni di acqua di raffreddamento 130. L'estremo della camera di confinamento 128 forma l'apertura di emissione 116.

In una realizzazione, la superficie interna 132 della camera di confinamento 128 è cilindrica

sulla sua intera lunghezza, con l'asse cilindrico coincidente con l'asse del fascio 106. Più preferibilmente, la superficie interna 132 della camera di confinamento 128 è cilindrica lungo una porzione della sua lunghezza adiacente all'apertura di emissione 116, ma contiene anche una gola 134 di sezione ridotta posizionata assialmente tra pareti, che si inclina esternamente via dall'asse di fascio 106. La gola 134 è posizionata adiacente all'estremo inferiore della superficie troncoconica 120 della custodia esterna 118.

Del materiale di apporto finemente suddiviso, preferibilmente nella forma di polvere, è introdotto nell'apparato 100 attraverso il passaggio anulare 126. La polvere è inizialmente contenuta in una sorgente di rifornimento di polvere (non mostrata nelle figure) ed è fluidizzata in una corrente di gas portatore che passa in un tubo 136 di gas portatore. La polvere fluidizzata scorre in una pluralità di tubi 136 di rifornimento di polvere, che tipicamente comprendono da 2 a 4 tubi ugualmente distanziati attorno alla circonferenza dell'apparato 100 e quindi ad aperture di iniezione 124 posizionate

simmetricamente alla testa del passaggio anulare 126.

Un altro flusso di gas è anche fornito all'ugello 108. Un flusso assiale di gas di un gas formatore di plasma è fornito da una tubazione 148 di flusso assiale di gas che comunica con l'interno dell'ugello 108, attraverso la parete dell'ugello o attraverso la parete del sistema ottico 104, nella realizzazione illustrata. Il gas formatore di plasma scorre dalla tubazione 148 attraverso l'interno dell'ugello 108, attraverso le aperture definite dalle superfici tronco coniche 120 e 124, attraverso la camera di confinamento 128 e fuori dall'apertura di emissione 116. Il flusso assiale di gas protegge il sistema ottico da danni, favorisce la formazione del plasma e porta il materiale fuso verso il substrato.

Il fascio 146 e il laser 102 è focalizzato dal sistema ottico 104, in un punto focale 150 che è sull'asse del fascio 106 ed entro la camera di confinamento 128. Il punto focale 150 è sufficientemente distante dalla superficie del substrato e la combinazione di riscaldamento diretto e di riscaldamento da plasma non sono sufficienti a fondere la superficie del substrato.

Nella realizzazione illustrata avente la gola 134, il punto focale 150 è di preferenza entro la regione inclinata verso l'esterno al di sotto della gola 134. Cioè, la costrizione più stretta della gola 134 è tra il punto focale 150 e il laser 102.

Di preferenza, il materiale di apporto finemente suddiviso forma un cono invertito quando esce dalla gola 134. Quello cono di materiale di apporto ha un punto focale che può essere regolato, cioè il punto focale del materiale di apporto può essere mosso verso o via dalla gola 134. Tale regolazione del punto focale di materiale di apporto è eseguita per rotazione della custodia interna 122 rispetto alla custodia esterna 124. Tale rotazione muove la custodia interna 122 assialmente e allarga o diminuisce le dimensioni del passaggio anulare 126 particolarmente al suo estremo inferiore. Quando il passaggio 126 è reso di dimensioni minori, il cono di materiale di apporto e il suo punto focale sono pure cambiati. Il punto focale del materiale di apporto ed il punto focale del fascio laser possono essere regolati per concidere.

La densità di potenza del fascio 146 è massima al

punto focale 150. Se la densità di potenza è sufficientemente grande in questa posizione, l'interazione tra il gas assiale, il gas portatore, la polvere e l'energia del fascio laser porta alla formazione di un plasma 152. Il plasma è una nube altamente ionizzata di ioni ed elettroni che raggiunge una temperatura estremamente alta entro un volume limitato. In questo volume di interazione, una parte degli atomi del materiale di apporto nella polvere viene vaporizzata. L'energia del fascio laser strappa elettroni dagli atomi di gas formatori di plasma e dagli atomi di materiale di apporto vaporizzato. Il plasma una volta iniziato o "acceso", diventa autosostenente se il flusso di gas e il fascio laser vengono mantenuti. Una parte del materiale di apporto finemente suddiviso viene fuso nel plasma, e altre parti possono rimanere intenzionalmente o non intenzionalmente solide. Il flusso continuo di gas formatore di plasma attraverso la regione di formazione del plasma e verso il substrato porta il materiale di apporto fuso e solido ad essere emesso dall'ugello 108 attraverso l'apertura 116, formando lo spruzzo 110 che si deposita sul substrato 114 come strato 112.

Lo strato 112 contiene perciò materiale di apporto che è stato fuso nel plasma e risolidificato quando urta il substrato e possibilmente materiale di apporto che è mai stato fuso nel plasma. In alcuni usi, come l'applicazione di rivestimenti resistenti all'usura, può essere desiderabile che una porzione del materiale di apporto rimanga solida. Per esempio, il materiale di apporto può contenere polvere ceramica finemente suddivisa che, quando depositata come particelle sulla superficie del substrato, aumenta la resistenza all'usura del medesimo substrato.

Una caratteristica importante dell'apparato spruzzatore a plasma mediante laser 10 è il confinamento parziale del plasma 152 entro l'apparato. Il plasma 152 è confinato lateralmente dalla camera di confinamento 128. Viene confinato contro movimento verso il laser 102, cioè, indietro nell'interno delle custodie 118 e 122, dal flusso di gas assiale, di gas portatore e di materiale di apporto in polvere. Per fornire tale confinamento, si è trovato che i flussi dovevano essere piuttosto alti, riducendo le variazioni di gamma di funzionamento che erano possibili. Nella realizzazione preferita, la formazione del punto

focale 150 del laser 102 (e quindi l'origine del plasma) in una posizione entro la gola 134 al di sotto del diametro minimo della gola, ha mostrato di aiutare significativamente nel confinare il plasma e nell'impedirgli di espandersi all'indietro all'interno delle custodie 118 e 122. Quando così parzialmente confinato, il plasma 152 è libero di espandersi in solo una direzione, sotto la camera di confinamento 128 verso il substrato 114. Tale espansione è osservata nel funzionamento e generalmente sporge esternamente attraverso l'apertura 116. Il grado di portata esterna del plasma dipende principalmente dalla portata di gas attraverso la camera di confinamento 128 e dalla densità di energia del laser al punto di focalizzazione 150 del laser. In ogni caso, tutto il plasma sporgente fuori dall'ugello non riscalda sufficientemente il substrato per fonderlo. Se desiderato, il plasma può essere intenzionalmente ridotto in modo che quasi tutto il plasma sia contenuto entro la camera di confinamento 128 con solo una piccola espansione del plasma fuori dall'apertura 116. C'è una considerevole gamma di controllo delle dimensioni e della sporgenza del plasma nel

presente apparato.

Il riscaldamento del substrato è influenzato dal plasma, dove un plasma interamente contenuto nell'apparato 10 riscalda il substrato solo per la quantità relativamente piccola di radiazione attraverso l'apertura 116. Il substrato è anche riscaldato dall'energia liberata quando gli atomi depositati si solidificano e dall'energia del fascio laser che viene trasmessa attraverso il plasma e raggiunge il substrato in stato sfocalizzato. Questi contributi al riscaldamento sono relativamente piccoli e si è trovato che una deposizione sul substrato viene eseguita senza fondere il substrato o alterare la sua struttura metallurgica, per substrati aventi punti di fusione moderatamente alti. Al contrario, quando il punto focale del laser è all'esterno del sistema, in modo che un plasma sia formato vicino o incidente sul substrato, come in saldatura a laser, il substrato è quasi sempre fuso e/o drasticamente cambiato di struttura.

I seguenti dettagli strutturali e operativi di una realizzazione della presente soluzione sono forniti come informazioni addizionali e non come limitazioni. In tale realizzazione, la camera di

confinamento ha un diametro interno di 10,16 mm (0,4 "). Il diametro minimo di gola è di 6,35mm (0,25"). Lo spazio o dimensione del passaggio anulare è tipicamente di 1,52mm (0,06"), ma facilmente regolabile. La lunghezza dell'ugello è di circa 102mm (4"), ma le dimensioni non sono critiche. Il laser è un laser a biossido di carbonio funzionante ad un livello di potenza di almeno 2,5 kw in modo continuo. Un numero di gas differenti e di miscele gassose è stato utilizzato per il flusso assiale di gas formatore di plasma, comprendente argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno, biossido di carbonio e loro miscele. I gas usati per il gas portatore di polvere hanno compreso argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno, biossido di carbonio e loro miscele. Si può depositare una varietà di materiali di apporto metallici e non metallici, e loro miscele, comprendenti ceramiche, miscele di ceramiche e miscele di metalli e ceramiche. Tali materiali comprendono leghe di titanio, come Ti-6Al-4V, tungsteno, leghe di cobalto, leghe nichel come Inconel e Hastelloy X, ceramiche come ossidi di alluminio, di cromo e di zirconio e plastiche. Il substrato o l'ugello, o entrambi, viene mosso

in modo che ci sia un movimento relativo tra il substrato e l'ugello. Di preferenza l'ugello è fisso e il substrato viene fatto avanzare automaticamente sotto l'ugello su una tavola elettromeccanica avente assi di movimento X e Y, il movimento essendo sotto controllo programmato di calcolatore per la velocità e la direzione di moto.

I seguenti esempi sono presentati per illustrare aspetti dell'invenzione e non dovrebbero essere presi come limitanti l'invenzione in alcun aspetto.

Esempio 1

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare plasma mediante laser una lega Hastelloy X avente dimensioni di polvere da -200 a +400 maglie su un substrato di Hastelloy X protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 3,4 kw (kilowatt) con una lunghezza focale di 190mm (7,5"). Il flusso totale di gas fluidizzante e di gas assiale era di $1,41\text{m}^3$ (50 piedi cubici) all'ora di argon gassoso e la portata di polvere era di 7gr al minuto. L'ugello era 38,1 mm (1,5 ") al di sopra del substrato. Il substrato venne fatto passare

attraverso l'ugello ad una velocità di 16,25 m (640 ") al minuto. Lo strato depositato aveva una larghezza di circa 2,54mm (0,10") e un'altezza di circa 0,025mm (0,001"). Il cordone era ben unito al substrato. Una qualche porosità e rugosità superficiale venne osservata nello strato depositato quando ispezionato metallograficamente.

Esempio 2

L'esempio 1 venne ripetuto, eccetto che il gas per plasma era una miscela in parti uguali di argon e azoto. I risultati furono sostanzialmente i medesimi, eccetto che il deposito dell'esempio 2 aveva una qualità superficiale migliore.

Esempio 3

L'esempio 2 fu ripetuto, eccetto che il gas per plasma era una miscela di argon e di un 5% in volume di idrogeno e la portata di polvere era di 10, 5 gr al minuto. I risultati furono simili a quelli dell'esempio 2.

Esempio 4

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser una polvere di Ti-6Al-4V avente dimensioni da -100 a + 230 maglie su un substrato di Ti-6Al-4V protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto

funzionare ad una potenza di 5kw, con una lunghezza focale di 127mm (5"). Il flusso totale di fluidizzante e assiale fu di $1,13\text{m}^3$ (40 piedi cubici) all'ora di argon gassoso e la portata di polvere fu di 10 gr al minuto. L'ugello era a 51 mm (2") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso l'ugello ad una velocità di 2,54 m (100") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Esempio 5

L'esempio 4 fu ripetuto, eccetto che i gas di copertura era una miscela di argon e elio, con la portata di argon a $0,85\text{ m}^3$ (30 piedi cubici) all'ora e la portata di elio a $0,14\text{ m}^3$ (5 piedi cubici) all'ora. L'altezza dell'ugello era a 25,4 mm (1") sopra la superficie. Altrimenti, i parametri operativi e i risultati furono simili.

Esempio 6

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser tungsteno avente dimensioni di polvere da -200 a +400 maglie su un substrato di rame protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 5kw, con una lunghezza focale di 127 mm (5,0"). I flussi di gas fluidizzante e assiale

erano una miscela di argon e azoto gassoso, con la portata di argon pari a $0,85 \text{ m}^3$ (30 piedi cubici) all'ora e la portata di azoto pari a $0,28 \text{ m}^3$ (10 piedi cubici) all'ora.

La portata di polvere fu di 22 gr. al minuto. L'ugello era a 25,4 mm (1") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso all'ugello ad una velocità di 1,02 m (40") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Esempio 7

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser una lega basata su nichel Inconel 718 avente dimensioni di polvere da -200 a + 325 maglie su un substrato di lega Inconel 718 protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 3,5 kw, con una lunghezza focale di 127mm (5,0"). Il flusso totale di gas fluidizzante e assiale era di $1,13 \text{ m}^3$ (40 piedi cubici) all'ora di argon gassoso e la portata di polvere era di 6 gr al minuto. L'ugello era a 25,4 mm (1") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso all'ugello ad una velocità di 1,02 m (40") al minuto.

Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Esempio 8

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser una miscela polverizzata del 60% in peso di argento e del 40% in peso di carburo di tungsteno, avente dimensioni di polvere da -200 a + 400 maglie su un substrato di rame protetto mediante argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 4kw, con lunghezza focale di 127 mm (5,0"). I flussi di gas fluidizzante e assiale erano una miscela di argon e azoto gassosi, con la portata di argon pari a 0,85 metri cubi (30 piedi cubici) all'ora e la portata di azoto pari a 0,28 metri cubi (10 piedi cubici) all'ora. La portata di polvere era di 20 gr al minuto. L'ugello era a 25,4mm (1") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso l'ugello ad una velocità di 1,02 m (40") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Esempio 9

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser una miscela polverizzata del 70% in peso di lega di nichel e

del 30% in peso di ossido di alluminio, avente dimensioni di polvere da -200 a +400 maglie, su un substrato di Inconel 718 protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 4kw, con una lunghezza focale di 127 mm (5,0"). I flussi di gas fluidizzante e di gas assiale erano una miscela di argon e di azoto gassoso, con la portata di argon pari a 0,85 metri cubi (30 piedi cubici all'ora e la portata di azoto pari a 0,28 metri cubi (10 piedi cubici) all'ora. La portata di polvere era di 10 gr al minuto. L'ugello era a 25,4 mm (1") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso l'ugello ad una velocità di 2,54m (100") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Esempio 10

L'apparato illustrato venne utilizzato per spruzzare a plasma mediante laser una miscela polverizzata del 92% in peso di ossido di zirconio e dell'8% in peso di ossido di ittrio, aventi dimensioni di polvere da -200 a +325 maglie su un substrato di Inconel 718 protetto con argon come gas di copertura. Il laser venne fatto funzionare ad una potenza di 5kw, con lunghezza focale di 127

mm (5,0"). I flussi di gas fluidizzante e assiale erano una miscela di argon e del 2% in volume di ossigeno gassosi, con la portata totale pari a 1,13 metri cubi (40 piedi cubici) all'ora. La portata di polvere era di 10 gr al minuto. L'ugello era a 51 mm (2") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso l'ugello ad una velocità di 2,54 m (100") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Questi esempi dimostrano che una grande varietà di materiali e loro miscele può essere spruzzata con successo usando la tecnica di spruzzamento di polvere mediante laser funzionante sotto svariate condizioni. La presente invenzione fornisce perciò un utensile altamente versatile per depositare materiali su substrati. Benchè la presente invenzione sia stata descritta assieme a particolari esempi e realizzazioni, si capirà da parte negli esperti nel ramo che la presente invenzione è capace di modifiche senza allontanarsi dal suo spirito e dal suo campo.

RIVENDICAZIONI

1. Apparato di spruzzamento a plasma mediante laser per depositare materiale di apporto su un

mm (5,0"). I flussi di gas fluidizzante e assiale erano una miscela di argon e del 2% in volume di ossigeno gassosi, con la portata totale pari a 1,13 metri cubi (40 piedi cubici) all'ora. La portata di polvere era di 10 gr al minuto. L'ugello era a 51 mm (2") sopra il substrato. Il substrato venne fatto passare attraverso l'ugello ad una velocità di 2,54 m (100") al minuto. Uno strato venne depositato con successo sul substrato.

Questi esempi dimostrano che una grande varietà di materiali e loro miscele può essere spruzzata con successo usando la tecnica di spruzzamento di polvere mediante laser funzionante sotto svariate condizioni. La presente invenzione fornisce perciò un utensile altamente versatile per depositare materiali su substrati. Benchè la presente invenzione sia stata descritta assieme a particolari esempi e realizzazioni, si capirà da parte negli esperti nel ramo che la presente invenzione è capace di modifiche senza allontanarsi dal suo spirito e dal suo campo.

RIVENDICAZIONI

1. Apparato di spruzzamento a plasma mediante laser per depositare materiale di apporto su un

substrato, comprendente :

un laser;

un sistema ottico configurato per focalizzare il fascio del laser ad un volume di interazione, il punto focale del laser essendo al di sopra della superficie del substrato in modo che il fascio sia divergente quando urta il substrato;

mezzi per fornire un materiale di apporto ed un flusso di gas al volume di interazione, nel quale durante il funzionamento viene formato un plasma ed almeno una porzione del materiale di apporto viene fusa;

mezzi per confinare parzialmente il plasma ed il materiale di apporto fuso e per dirigere il plasma e il materiale di apporto fuso verso il substrato.

2. L'apparato di rivendicazione 1, contenente inoltre un gas mescolato con il materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno, biossido di carbonio e loro miscele.

3. L'apparato di rivendicazione 1, contenente inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di una lega di titanio, una lega di nichel, una lega di cobalto e una lega di ferro.

4. L'apparato di rivendicazione 1, contenente

inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di un metallo, un non metallo e una miscela di un metallo e un non metallo.

5. Apparato di spruzzamento a plasma mediante laser, comprendete:

un ugello avente

una custodia esterna troncoconica,

una custodia interna troncoconica di minori dimensioni coniche della custodia esterna ed infilata nella medesima con gli assi troncoconici delle custodie esterne ed interne coincidenti, la custodia esterna e la custodia interna definendo un passaggio anulare tra le medesime,

un prolungamento cilindrico cavo della custodia esterna avente il suo asse cilindrico coincidente con gli assi troncoconici delle custodie esterne ed interne, il prolungamento cilindrico formando una camera di confinamento di plasma;

un laser;

un sistema ottico configurato per dirigere il fascio del laser lungo l'asse troncoconico delle custodie esterne ed interne ad un punto focale all'interno del prolungamento cilindrico;

un sistema di rifornimento di gas comunicante con l'interno della custodia interna, creante un

flusso di gas formatore di plasma dalla custodia interna verso il prolungamento cilindrico;

un sistema di alimentazione comunicante con il passaggio anulare tra la custodia interna e la custodia esterna e adatto ad introdurre nel medesimo un flusso di materiale di apporto finemente suddiviso mescolato con un gas portatore.

6. L'apparato di rivendicazione 5, contenente inoltre un gas portatore scelto dal gruppo consistente di argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno, biossido di carbonio e loro miscele.

7. L'apparato di rivendicazione 5, contenente inoltre un gas formatore di plasma scelto dal gruppo consistente di argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno biossido di carbonio e loro miscele.

8. L'apparato di rivendicazione 5, comprendente inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di una lega di titanio, una lega di nichel, una lega di cobalto e una lega di ferro.

9. L'apparato di rivendicazione 5 contenente inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di ossido di alluminio, ossido di cromo, ossido di zirconio e loro miscele.

10. L'apparato di rivendicazione 5, nel quale l'ugello contiene inoltre una restringimento tra la custodia esterna e il prolungamento cilindrico, il restringimento avendo un diametro cilindrico minore dell'apertura della custodia troncoconica esterna e anche minore del diametro interno del prolungamento cilindrico.

11. Apparato spruzzatore a plasma mediante laser, comprendete :

un laser configurato per focalizzare il fascio del laser ad un volume di interazione;

una camera di confinamento di plasma entro il quale è posizionato il volume di interazione avente

una parete laterale di confinamento,

una camera di apporto di polvere tra il laser e la parete di confinamento,

una gola di dimensioni ristrette tra la parete di confinamento e la camera di apporto di polvere, attraverso la quale il fascio laser passa per raggiungere il punto focale del laser;

un sistema di alimentazione di polvere che fornisce materiale di apporto in polvere alla camera di apporto di polvere in una corrente di gas portatore;

un sistema di rifornimento di gas che muove la polvere dalla camera di apporto di polvere alla camera di confinamento in una corrente di gas formatore di plasma.

12. L'apparato di rivendicazione 11, nel quale il volume di interazione è entro la gola.

13. L'apparato di rivendicazione 11, contenente inoltre un gas portatore scelto dal gruppo consistente di argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno, biossido di carbonio e loro miscele.

14. L'apparato di rivendicazione 11, contenente inoltre un gas formatore di plasma scelto dal gruppo consistente di argon, azoto, elio, idrogeno, ossigeno biossido di carbonio e loro miscele.

15. L'apparato di rivendicazione 11, contenente inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di una lega di titanio, una lega di nichel una lega di cobalto e una lega di ferro.

16. L'apparato di rivendicazione 11, contenente inoltre un materiale di apporto scelto dal gruppo consistente di un metallo, un non mtallo, e una miscela di un metallo e un non metallo.

17. Procedimento per depositare uno strato di un materiale di apporto su un substrato, comprendete

le fasi di:

fornire un laser avente un punto focale al di sopra della superficie del substrato, il punto focale essendo sufficientemente distante dalla superficie del substrato in modo che il substrato non venga fuso;

formare un plasma nella regione del punto focale del laser;

aggiungere un materiale di apporto finemente suddiviso al plasma per fondere almeno una parte del materiale di apporto;

dirigere il materiale di apporto fuso verso il substrato.

18. Il procedimento di rivendicazione 17, nel quale la fase di aggiunta è eseguita fornendo il materiale di apporto finemente suddiviso attorno alla circonferenza del plasma.

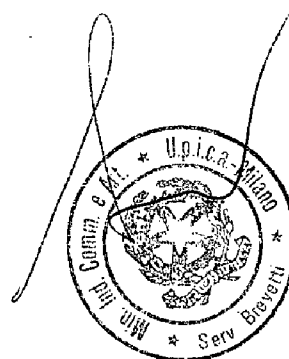
19. Il procedimento di rivendicazione 17, contenente la fase aggiuntiva di coprire una camera di confinamento attorno al punto focale del laser, la camera di confinamento avendo una parete laterale con estremi aperti che consente al fascio laser di entrare da un estremo ed emergere dall'altro.

20. Il procedimento di rivendicazione 17, nel

quale la fase di direzione è eseguita dirigendo una corrente di gas formatore di plasma attraverso una regione del punto focale del laser e verso il substrato in una direzione parallela alla direzione del fascio laser, per obbligare il materiale di apporto fuso a scorrere verso il substrato.

p. Il Mandatario

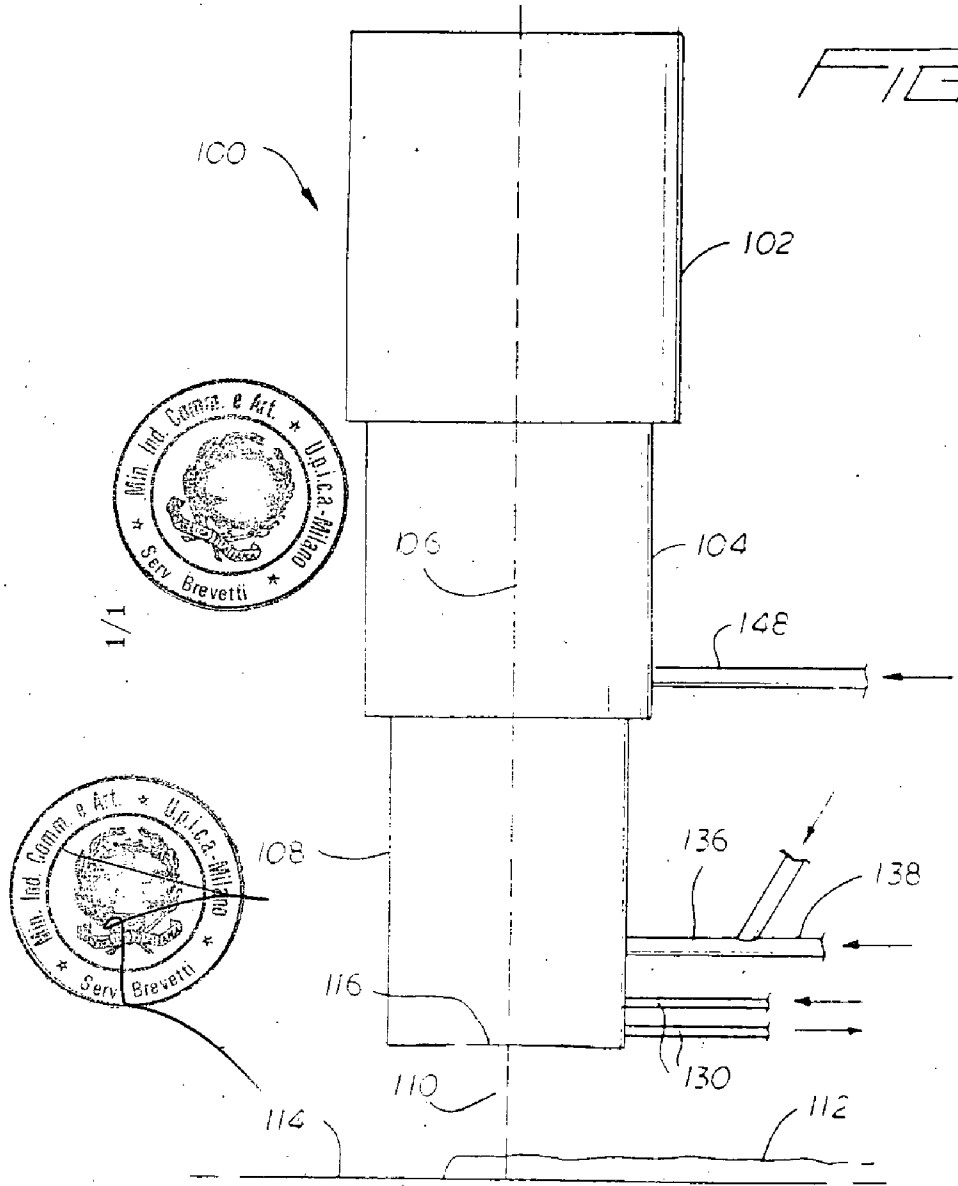
Dott. Giuliano Michelotti
Giuliano Michelotti
della SAIC BREVETTI SRL
(Iscriz. Albo No. 172)



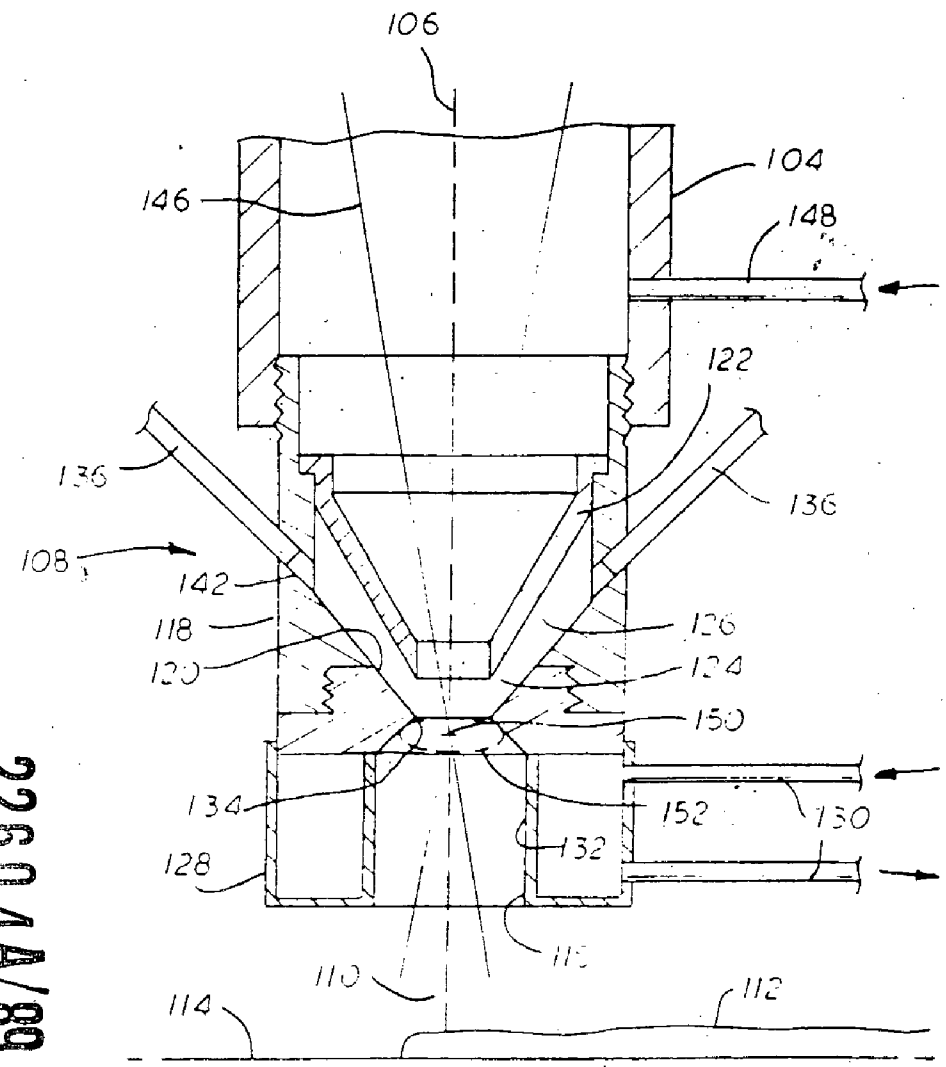
GM/eb

FIG 1

FIG 2



22604A/89



P. Il Mandatario
 Dott. Giuliano Michelotti