



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102015000057527
Data Deposito	02/10/2015
Data Pubblicazione	02/04/2017

Classifiche IPC

Titolo

Metodo e apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali.

Metodo e apparato di foto-indurimento a substrato auto-
lubrificante per la formazione di oggetti
tridimensionali

La presente invenzione concerne un metodo e un apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali.

Più in particolare, l'invenzione riguarda un'innovativa metodologia di produzione di oggetti tridimensionali, tramite un processo di foto-indurimento di materiali fotosensibili, opportunamente drogati, che consente di realizzare oggetti tridimensionali secondo un processo sequenziale e parzialmente continuo di formazione, aumentando considerevolmente la velocità, la precisione e le qualità meccaniche del prodotto finale, rispetto a quanto ottenibile mediante le metodologie di tipo basculante.

L'invenzione si riferisce al campo della stampa tridimensionale, comunemente chiamata stampa 3D, e in particolare alla tecnologia di stampa 3D mediante foto-indurimento.

È noto che nel campo della tecnologia di stampa 3D mediante foto-indurimento possono essere comprese due tecnologie di base, la stampa stereolitografica, nella quale si usa un laser emettente nell'intorno dei 400nm, per solidificare mediante il fascio emesso un polimero foto-indurente allo stato liquido che si trova in una apposita vasca; e la stampa DLP (acronimo

dell'espressione inglese Digital Light Processing), secondo la quale un polimero foto indurente, sempre allo stato liquido in una vasca, viene esposto alla radiazione luminosa emessa da un dispositivo simile ad un proiettore.

Secondo entrambe queste tecnologie, il procedimento di stampa procede realizzando uno strato dopo l'altro, ovvero solidificando un primo strato aderente ad una piastra di supporto (o piastra di estrazione) e successivamente un secondo strato aderente a detto primo strato e così via fino alla formazione dell'oggetto completo. Secondo questa tecnologia, quindi, i dati che rappresentano l'oggetto tridimensionale da realizzare vengono organizzati come una serie di strati bidimensionali che rappresentano sezioni trasversali dell'oggetto.

Il processo Bottom-Up, applicato alle macchine sia di tipo SLA che DLP, prevede che la piastra di estrazione dell'oggetto si muova dal basso verso l'alto, con un movimento basculante layer-by-layer (strato su strato).

In buona sostanza, il processo di formazione dell'oggetto tridimensionale è così costituito:

- un software suddivide il modello 3D, fornito in input per la stampa, in una successione ordinata di strati, dello spessore determinato in funzione della tecnologia adottata, della opacità del polimero, della quantità di catalizzatore, del grado di precisione che si vuole ottenere e delle caratteristiche della macchina in dotazione, solitamente tra i 50 e 200

micron, ma in ogni caso una successione di un numero discreto e finito di strati;

- una piastra di estrazione, costituita da un materiale in grado di facilitare l'incollaggio su se stessa del primo strato di polimero, si porta ad una distanza prefissata dal primo strato e attende che il fascio luminoso (SLA o DLP) solidifichi il primo strato; poi si alza di una distanza sufficiente a fare in modo che lo strato appena formato si stacchi dal fondo della vasca (solitamente circa 1mm) e quindi si riabbassa della stessa distanza, meno la distanza prefissata per la formazione del secondo strato, e così via fino alla formazione dell'intero oggetto.

Il movimento di va e vieni che ne risulta, detto anche movimento basculante, ha due scopi principali: consente allo strato appena formato di staccarsi dal fondo della vasca, e allo stesso tempo permette ad una nuova quantità di resina liquida non polimerizzata di interpersi tra lo strato appena formato e il fondo del recipiente, per consentire il rinnovo di materiale ancora allo stato liquido sotto allo strato già solidificato, per l'indurimento e la formazione dello strato successivo.

Volendo sintetizzare con un modello matematico il sistema sopracitato è possibile individuare i seguenti parametri:

t_c = tempo di esposizione del fascio luminoso per indurimento del polimero (funzione in particolare della potenza elettromagnetica nello spettro di interesse erogata dalla sorgente luminosa e delle condizioni

ambientali di lavoro, assenza d'ossigeno, intensità e capacità coprente del colore del polimero, quantità di catalizzatore)

s = spessore dello strato

n = numero di strati formati

d = distanza di basculamento della piastra di estrazione

h = altezza dell'oggetto da stampare

t_b = tempo di basculamento

v_b = velocità di basculamento

T = tempo complessivo di stampa dell'oggetto tridimensionale

dai quali si deduce che il numero n di strati da indurire sarà pari al rapporto tra l'altezza h dell'oggetto da stampare e lo spessore s dello strato che si vuole solidificare, secondo la relazione:

$$n = h/s$$

Il tempo di basculamento viene definito come il tempo che impiega la piastra di estrazione a percorrere la distanza $d + (d - s)$, ossia la distanza di risalita della piastra per il rinnovo o reintegro (refresh) della resina, sommata alla distanza di ritorno alla posizione di stampa, decrementata dello spessore del nuovo strato (layer) da produrre, da cui si ricava:

$$t_b = (d + (d - s))/v_b$$

da cui consegue che il processo di stampa richiede un tempo complessivo pari a:

$$T = n * (t + t_b) = \frac{h}{s} * \left(t + \frac{d + (d - s)}{v_b} \right)$$

Questa equazione rappresenta, di fatto,

l'equazione caratteristica del tempo di stampa della tecnologia DLP, che può essere arricchita di ulteriori elementi, quali ad esempio una differenziazione tra la velocità di basculamento in salita e quella in discesa (si tende a rallentare nella fase di distacco in salita per evitare uno stress meccanico troppo elevato dello strato appena formato), il tempo di riposo, da aggiungere successivamente al tempo di esposizione luminosa dello strato per consentire alla resina, appena solidificata, di consolidare i legami e quindi risultare più resistente allo stress meccanico che tende a staccarlo dal fondo, e così via.

Per quanto riguarda l'equazione caratteristica del tempo di stampa per la tecnologia di stampa stereolitografica, occorre evidenziare una differenza sostanziale rispetto all'equazione relativa alla tecnologia DLP. È evidente, infatti, come la tecnologia DLP dipenda esclusivamente dall'altezza dell'oggetto da stampare e non dalla sua forma o dal suo volume, dato che la superficie dello strato che va formandosi viene proiettata tutta contemporaneamente, cosa che non è vera per la tecnologia stereolitografica. Infatti, a parità di potenza erogata dalle sorgenti luminose nei due casi, la tecnologia stereolitografica utilizza un laser, che impiega del tempo a scansionare tutta la superficie del singolo strato da produrre.

L'equazione caratteristica del tempo di stampa per la tecnologia di stampa stereolitografica sarà quindi dipendente anche dal volume dell'oggetto da stampare.

Ne consegue che, indicati con

- 6 -

S_n = superficie dell'ennesimo strato;

S_s = superficie di scansione del fascio laser;

t_p = tempo di persistenza del fascio laser
sull'unità di superficie S_s

t_l = il tempo di latenza, ossia il tempo che
impiega il fascio laser a spostarsi sulla successiva S_s

il tempo di indurimento del singolo layer è pari
a:

$$(S_n/S_s) * (t_p + t_l)$$

e quindi, per la sommatoria di tutti gli n layers si
ottiene:

$$\sum_1^n \frac{S_n}{S_s} * (t_p + t_l)$$

da cui l'equazione caratteristica del tempo di stampa
della tecnologia di stampa stereo litografica è:

$$T = (n * t_b) + \sum_1^n \frac{S_n}{S_s} * (t_p + t_l) = \frac{h}{s} * \frac{d+(d-s)}{v_b} + \sum_1^n \frac{S_n}{S_s} * (t_p + t_l)$$

che come anticipato risulta essere dipendente non solo
dall'altezza dell'oggetto da realizzare ma dal suo
volume.

Ne consegue che, mentre il tempo di stampa per la
tecnologia di stampa DLP, indicato con TDLP, per
produrre contemporaneamente due oggetti di eguale
altezza non muterebbe in alcun modo, il tempo di stampa
per la tecnologia di stampa stereo litografica,
indicato con TSLA, risulterebbe essere dipendente (a
meno del tempo di basculamento, da considerare uguale)
dalla somma dei due singoli tempi di stampa
caratteristici dei due oggetti.

Nei paragrafi precedenti sono stati affrontati due

dei tre temi principali riguardanti il processo di stampa tridimensionale per foto-indurimento, quello connesso agli aspetti di gestione meccanica, che interessano la formazione a strati successivi, e quello relativo alle equazioni del tempo che determinano le caratteristiche del software di gestione delle dinamiche di stampa.

Il terzo tema, non meno importante, riguarda le caratteristiche del sistema di raccolta della resina, la cosiddetta vasca, che ha il compito non solo di contenere il polimero liquido dal quale si ottiene per foto-indurimento l'oggetto tridimensionale stampato, ma anche quello di agevolare la formazione e il distacco dello strato appena costituito, e di prediligere l'incollaggio dello stesso verso la piastra d'estrazione, senza che la resistenza meccanica ne comprometta l'integrità.

Analizzando le caratteristiche delle soluzioni secondo la tecnica nota, è possibile schematizzare i sistemi di raccolta bottom-up, siano questi per tecnologia DLP che SLA, come segue:

- contenitore della resina, con fondo cavo;
- materiale trasparente ai raggi UV per copertura del fondo;
- strato di materiale antiaderente a copertura del materiale trasparente.

Viene effettuato un foro, solitamente al centro del sistema di raccolta, per consentire il transito del fascio luminoso che dovrà innescare il fenomeno di foto-indurimento, il foro viene quindi coperto da un

vetro che abbia caratteristiche di eccellente trasparenza ai raggi UV (al fine di non perdere potenza luminosa incidente), quali ad esempio quarzo e borosilicato. Infine, certamente, la parte più importante per consentire il corretto svolgimento del processo riguarda la copertura del vetro con un materiale antiaderente, per permettere al primo strato di attaccarsi alla piastra di estrazione e ai successivi strati di unirsi in sequenza tra loro.

Il fallimento del processo porterebbe a far precipitare lo strato appena formato sul fondo della vasca, interrompendo il processo di formazione e facendo fallire la routine di stampa.

Nel seguito sono indagati gli effetti limitanti di questa tecnologia, che rendono la produzione dell'oggetto molto lenta (fino ad ore per centimetro), molto instabile e con capacità di realizzazione di oggetti di dimensioni ridotte.

Il primo limite nell'adozione delle tecnologie secondo la tecnica nota è quello cosiddetto dell'effetto ventosa, che viene ad ingenerarsi tra la superficie dell'oggetto e il materiale antiaderente che copre la lastra trasparente ai raggi UV, disposta sul fondo della vasca.

Si nota immediatamente come si instaurino le condizioni ottimali per l'insorgere di questo fenomeno. Infatti, lo strato si immerge nella resina fino a quando si ritrova alla distanza s (spessore dell'ennesimo strato) dalla membrana antiaderente (entrambe le superfici sono complanari e perfettamente

piane proprio per conferire precisione agli strati che si andranno a formare); quindi si genera un nuovo strato per foto-indurimento. L'assenza di aria crea di fatto il vuoto tra le due superfici, che sono circondate da un liquido a più alta viscosità, e le due superfici a contatto sono le più grandi possibili; lo stress meccanico che subisce il sistema e di conseguenza il nuovo strato formatosi (di soli pochi decimi di millimetro di spessore) sono enormi, con il rischio quindi di lacerare lo strato appena solidificato, che non si attaccherà alla superficie superiore, portando all'interruzione del processo di stampa.

Per ridurre gli effetti di questo fenomeno si procede in modo tale che la superficie della piastra di estrazione e degli oggetti da creare sia sufficientemente piccola (solitamente con tecnologie di questo tipo si creano oggetti delle dimensioni di circa 4x4, 5x5 centimetri) e allo stesso tempo che la velocità di risalita della piastra nella fase di basculamento sia estremamente ridotta (si rammenta come tale velocità v_b comparisse nell'equazione del tempo di entrambe le tecnologie), aumentando sensibilmente il tempo di stampa (genericamente il tempo di basculamento risulta essere circa il 40% del tempo totale).

Il secondo tema, fondamentale nella comprensione delle dinamiche di formazione di un oggetto stampato tridimensionale nelle tecniche di foto-indurimento (photocuring) dal basso verso l'alto (Bottom-Up), è quello della capacità antiaderente dello strato

disposto sopra il vetro di fondo.

Questa tipologia di stampa tridimensionale si fonda sulla capacità dello strato appena formato di legarsi, nel primo strato alla piastra di estrazione, e nei successivi agli strati che lo precedono. Se però la resistenza meccanica imposta dalla membrana inferiore risulta essere superiore alla forza di coesione della superiore, inevitabilmente lo strato indurito rimarrà sul fondo della vasca interrompendo il processo di creazione dell'oggetto stampato tridimensionale.

Secondo la tecnica nota, si è tentato di rispondere a questa difficoltà con l'uso di diversi materiali con queste caratteristiche; l'uso di particolari siliconi, quali ad esempio il bi-componente SF45, che con le sue caratteristiche elastiche consente anche una riduzione dell'effetto ventosa sopracitato; o il politetrafluoroetilene, o PTFE, che oggi risulta essere tra i materiali a più alta antiaderenza disponibili sul mercato.

Al fine di ridurre questo effetto e consentire quindi un successo di stampa accettabile si può, inoltre, intervenire su due elementi: il tempo di esposizione alla sorgente luminosa (t) e la velocità di basculamento (v_b). Infatti, aumentando l'esposizione, e quindi erogando più energia, lo strato che va formandosi tende ad aumentare il proprio spessore, ma essendo costretto in uno spessore predeterminato (s) va a comprimersi verso lo strato superiore, aumentando la resistenza allo strappo dalla membrana antiaderente, ma perdendo di precisione nella forma dell'oggetto, a

- II -

causa della formazione sulla superficie laterale dell'oggetto di una serie di piccoli scalini, fenomeno noto nel settore come superficie a dente di sega. Per quanto riguarda la velocità di basculamento, rallentando la risalita della piastra, si conferisce più tempo allo strato formato di staccarsi dalla membrana, che rilascerà più gradualmente, aumentando così sia la precisione che la probabilità di successo di stampa.

Risulta evidente, sempre facendo riferimento alle equazioni del tempo caratteristiche, come entrambe le soluzioni proposte comportino non solo una inevitabile perdita di precisione del modello realizzato, ma un allungamento sensibile dei tempi di stampa, interventi che inevitabilmente conducono a realizzare oggetti di altezza di pochi centimetri anche in molte ore.

In questo contesto viene ad inserirsi la soluzione secondo la presente invenzione, che si propone di eliminare l'effetto ventosa, eliminare le aderenze tra strato formatosi e fondo vasca, ridurre gli stress meccanici introdotti dagli effetti sopracitati, ridurre gli stress meccanici introdotti dal basculamento, consentire un processo di formazione in tempi molto ridotti rispetto alle soluzioni della tecnica nota.

Questi ed altri risultati sono ottenuti secondo la presente invenzione proponendo un metodo e un apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali che, a differenza dei metodi e apparati di stampa 3D bottom-up secondo la tecnica nota, prevede l'interposizione tra

il fondo della vasca e la resina fotoindurente di una membrana, trasparente allo spettro elettromagnetico di interesse, in grado di rilasciare in maniera graduale uno strato di materiale lubrificante che permette al polimero, opportunamente drogato, di solidificare rimanendo sospeso su questo strato di materiale lubrificante.

Scopo della presente invenzione è quindi quello di fornire un metodo e un apparato di foto-indurimento per la formazione di oggetti tridimensionali che permettano di superare i limiti dei metodi e apparati secondo la tecnologia nota e di ottenere i risultati tecnici precedentemente descritti.

Ulteriore scopo dell'invenzione è che detto metodo e detto apparato possano essere realizzati con costi sostanzialmente contenuti, sia per quanto riguarda i costi di produzione che per quanto concerne i costi di gestione.

Non ultimo scopo dell'invenzione è quello di proporre un metodo e un apparato di foto-indurimento per la formazione di oggetti tridimensionali che siano semplici, sicuri ed affidabili.

Forma pertanto un primo oggetto specifico della presente invenzione un metodo di formazione di oggetti tridimensionali mediante foto-indurimento di un polimero liquido esposto ad una radiazione, in cui detti oggetti tridimensionali si formano per accrescimento, dovuto al progressivo indurimento di detto polimero liquido, nello spazio confinato tra una lastra trasparente a detta radiazione e una piastra di

supporto, ovvero una porzione già formata di detti oggetti, detta piastra di supporto allontanandosi progressivamente da detta lastra trasparente, caratterizzato dal fatto di mantenere uno strato di materiale lubrificante liquido sul lato di detta lastra trasparente rivolto verso detto polimero liquido.

Preferibilmente, secondo la presente invenzione, detto polimero liquido contiene a sua volta detto materiale lubrificante liquido.

Forma inoltre un secondo oggetto specifico della presente invenzione un apparato di formazione di oggetti tridimensionali mediante foto-indurimento di un polimero liquido mediante esposizione ad una radiazione, del tipo comprendente una vasca di raccolta di detto polimero liquido, sul fondo di detta vasca essendo presente un foro ricoperto da una lastra, detta lastra essendo realizzata con un materiale trasparente a detta radiazione, e una piastra di supporto atta a muoversi allontanandosi da detta lastra, caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi per la formazione di uno strato di lubrificante liquido sopra a detta lastra.

Preferibilmente, secondo l'invenzione, detti mezzi per la formazione di uno strato di lubrificante liquido sopra a detta lastra comprendono una membrana, realizzata con un polimero al cui interno è presente detto lubrificante liquido, e più preferibilmente detto polimero è silicone e detto lubrificante liquido è olio di silicone, con viscosità compresa tra 50 e 1000 mm²/s (definita secondo modello centistoke CST a 23°C), preferibilmente tra 300 e 400 mm²/s.

Infine, secondo la presente invenzione, all'interno di detta membrana è preferibilmente presente politetrafluoroetilene PTFE.

Risulta evidente l'efficacia del metodo e dell'apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali della presente invenzione, che consentono una formazione dell'oggetto tridimensionale di tipo sequenziale parzialmente continua. Infatti, come sarà specificato in seguito, tale sistema elimina completamente la necessità di utilizzare un sistema basculante di estrazione, e in alcune condizioni è in grado di formare in maniera continua il prodotto finale.

Infatti, secondo il metodo e l'apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali della presente invenzione, non si prevede più l'uso di un sistema basculante, l'inserimento di uno strato di olio lubrificante rilasciato dalla membrana gradualmente nel tempo consentendo di risolvere i due problemi caratteristici dei sistemi bottom-up tradizionali, ossia il distacco dello strato appena formato dal fondo vasca e il rinnovo di polimero liquido tra lo strato appena formato e il fondo della vasca.

Inoltre, il polimero allo stato liquido, opportunamente drogato, indurendosi rimanendo sospeso sullo strato oleoso di lubrificante, non va più a contatto con il fondo della vasca, pertanto si perde la necessità di alzare la piastra di estrazione per

distaccare lo strato appena formatosi.

Infine, per quanto riguarda il problema del rinnovo del polimero liquido, questo risulta essere risolto, tranne che in particolari condizioni, che verranno spiegate in seguito, motivo per il quale è possibile definire il sistema sequenziale (ossia senza la necessità di basculamento della piastra di estrazione), ma solo parzialmente continuo, dato che, come sarà evidente nel seguito della presente descrizione, solo in alcune condizioni è possibile ottenere il rinnovo del polimero liquido più velocemente del tempo di polimerizzazione e quindi consentire che il sistema non interrompa il processo di estrazione per attendere che tutta la nuova porzione di area da solidificare sia effettivamente bagnata dalla resina.

L'invenzione verrà descritta nel seguito a titolo illustrativo, ma non limitativo, con particolare riferimento ad alcuni esempi illustrativi e alle figure dei disegni allegati, in cui:

- la figura 1 mostra una vista in prospettiva sezionata di una vasca per un apparato di formazione di un oggetto mediante foto-indurimento, in cui è inserita una membrana autolubrificante secondo la presente invenzione,

- la figura 2 mostra una vista schematica del funzionamento della membrana autolubrificante secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione,

- la figura 3 mostra una vista schematica del

funzionamento della membrana autolubrificante secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione,

- la figura 4 mostra una vista schematica del funzionamento del sistema di formazione di oggetti per foto-indurimento secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione,

- la figura 5 mostra una serie di campioni ottenuti per foto-indurimento con diversi tempi di polimerizzazione e di reintegro della resina/polimero,

- la figura 6 mostra una vista schematica del funzionamento del sistema di formazione di oggetti per foto-indurimento secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione,

- la figura 7A mostra una vista in sezione di un oggetto utilizzato a titolo esemplificativo del procedimento di formazione secondo la presente invenzione, per valutare le modalità di funzionamento del procedimento,

- la figura 7B mostra una vista in prospettiva dell'oggetto della figura 7A,

- la figura 8 mostra una vista schematica del funzionamento del sistema di formazione di oggetti per foto-indurimento secondo una terza forma di realizzazione della presente invenzione, con riferimento alla determinazione del tempo di rinnovo della resina/polimero,

- la figura 9 mostra una vista in sezione di un oggetto in fase di formazione, con indicazione delle misure chiave per la determinazione dei tempi di

rinnovo della resina/polimero,

- la figura 10 mostra un'immagine fotografica dell'oggetto ottenuto nell'esempio 1,

- la figura 11 mostra un'immagine fotografica dell'oggetto ottenuto nell'esempio 2, e

- la figura 12 mostra un'immagine fotografica dell'oggetto ottenuto nell'esempio 3.

A titolo esemplificativo del funzionamento del metodo e dell'apparato della presente invenzione è stato utilizzato un metodo di realizzazione tridimensionale del tipo bottom-up, nella quale la formazione dell'oggetto avviene appunto dal basso verso l'alto, ed il foto-indurimento è ottenuto con un sistema di processamento del flusso luminoso di tipo digitale. I materiali utilizzati per il processo di foto-indurimento sono dei polimeri originariamente allo stato liquido, opportunamente drogati con catalizzatori ultravioletti e sostanze lubrificanti.

Facendo riferimento alla figura 1, la vasca di raccolta dell'apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali secondo la presente invenzione, complessivamente indicata con il riferimento numerico 10, presenta in posizione centrale un foro 11, che consente il transito del flusso luminoso incidente proveniente da una sorgente luminosa (non mostrata) disposta sotto alla vasca 10. Il foro 11 è ricoperto da una lastra 12, che può essere realizzata in borosilicato o in quarzo, o in ogni caso con un materiale trasparente allo spettro UV, e più in

particolare, nei sistemi che utilizzano un proiettore digitale di tipo DLP ad uso commerciale, trasparenti ad una coda dello spettro elettromagnetico del visibile verso la banda ultravioletta.

La lastra 12 posta sul fondo della vasca 10 non ha il solo scopo di impedire eventuali fuoriuscite del polimero liquido contenuto nella vasca, ma anche quello di svolgere la funzione di vincolo verso il basso quando si andrà a formare il primo strato, che tenderà a rimanere attaccato, per compressione, alla piastra di estrazione (non mostrata), realizzata a titolo esemplificativo in alluminio.

Sopra alla lastra 12 è presente una membrana 13, realizzata con un polimero autolubrificante a base silconica a basso coefficiente d'attrito e alta resistenza all'usura, realizzato utilizzando uno stampo e dei drogaggi specifici, che verranno descritti con maggior dettaglio nel seguito della presente descrizione, in grado di rilasciare (come mostrato con riferimento alla figura 2) uno strato di materiale silconico e antiaderente, rappresentato con il riferimento numerico 14, che nel sistema svolge il ruolo di tampone tra la membrana 13 stessa e il polimero foto-indurente, il cui scopo è quello di impedire l'innesco dell'effetto ventosa e dell'aderenza meccanica caratteristici dei sistemi bottom-up secondo la tecnica nota, e per tale motivo indicato nel seguito della descrizione con il nome di strato inibitore 14. Inoltre, il polimero allo stato liquido, rimanendo sospeso sopra allo stesso strato inibitore 14, consente

secondo la presente invenzione di ottenere un processo che, come verrà approfondito nel seguito della presente descrizione, con particolare riferimento alla determinazione dell'equazione del tempo, può essere definito sequenziale e, almeno parzialmente, continuo, eliminando definitivamente la routine di basculamento, indispensabile nei sistemi della tecnica nota.

In particolare, per la fase di sperimentazione della presente invenzione, sono stati utilizzati a titolo esemplificativo ma non limitativo dei polimeri a base siliconica con le seguenti caratteristiche: spessore della membrana compreso tra 0,50 mm e 2,50 mm, durezza da 55 a 70 Shore, carico di rottura da 8 a 10 MPa, allungamento percentuale a rottura da 300 a 400.

I migliori risultati (in termini di durata della membrana) sono stati ottenuti con durezza di 70 Shore, ma si possono utilizzare membrane in un ampio intervallo di durezza.

Si noti però che rimane possibile utilizzare altri tipi di materiali con caratteristiche di trasparenza, elasticità e rilascio di lubrificanti simili a quelle utilizzate.

Ancora con riferimento alla figura 2, l'olio di silicone (disciolto all'interno della membrana sotto forma di sferule indicate con il riferimento numerico 15) è un lubrificante che, quando è presente nel polimero autolubrificante con cui è realizzata la membrana 13, migra dall'interno del materiale verso l'esterno, fino a raggiungere la superficie, anche durante l'utilizzo della membrana 13, contribuendo in

tal modo alla riduzione dell'attrito e generando uno strato inibitore 14 sopra al quale il polimero ancora allo stato liquido rimane sospeso.

In particolare, a titolo esemplificativo ma non limitativo della presente invenzione, il lubrificante contenuto nella membrana 13 è costituito da olio siliconico con viscosità di $350 \text{ mm}^2/\text{s}$ (definita secondo modello centistoke CSt a 23°C). È comunque possibile utilizzare olii siliconici con viscosità diversa, compresa in un intervallo variabile da 50 a $1000 \text{ mm}^2/\text{s}$. Inoltre, come verrà spiegato in seguito nella presente descrizione, l'olio siliconico può eventualmente essere addizionato con PTFE, ovvero politetrafluoroetilene (indicato nella figura 2 con il riferimento numerico 16).

A titolo esemplificativo è possibile utilizzare quale lubrificante resine fluide del tipo utilizzato per la sformatura degli stampi: ad es. la resina 9515 di Siliconi Padova utilizzata come distaccante per la sformatura degli stampi, nonché olio siliconico del tipo Rhodorsil Huile 47 V 50 fornito sempre dalla Siliconi Padova, prodotto da BlueStar Silicones.

Nel metodo e apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali secondo la presente invenzione, la necessità di mantenimento dello strato lubrificato, almeno per tutto il processo di stampa, ha condotto alla scelta di privilegiare l'uso di olii siliconati a più elevata viscosità, in quanto formano più facilmente uno strato persistente su tutta la superficie di

interdizione.

In relazione alla viscosità dell'olio lubrificante, come detto sopra, è possibile utilizzare oli le cui caratteristiche di viscosità sono distribuite in un ampio intervallo: da 50 a 1000 mm²/s (definita secondo modello centistoke CSt a 23°C), con risultati migliori focalizzati nell'intervallo 300-400 mm²/s. Gli oli possono essere addizionati con PTFE e possono essere utilizzati altri prodotti lubrificanti quali resine per sformatura di stampi come ad es. la resina 9515 di Siliconi Padova.

I vantaggi degli additivi su base siliconica sono rappresentati dalla riduzione del coefficiente di attrito e del fattore d'usura.

Facendo riferimento alla figura 2, eccellenti effetti sinergici sono disponibili se il silicone viene accoppiato con il PTFE (indicato con il riferimento numerico 16), che tende a migrare verso l'esterno della membrana 13 prima dell'olio siliconico 15, creando un sottostrato che riduce le rugosità della membrana 13 e ne aumenta notevolmente la durata.

Per quanto riguarda la scelta dei polimeri foto-indurenti, secondo la presente invenzione è possibile utilizzare le resine già in uso nel settore della stampa 3D, preferibilmente addizionate con lubrificante dello stesso tipo di quello contenuto nella membrana posta alla base della vasca. Tale implemento consente di limitare l'effetto di aspirazione meccanica e diluizione del lubrificante contenuto nella membrana 13 da parte del polimero liquido.

I migliori risultati si ottengono con percentuali di lubrificante disciolto nel polimero liquido del 4-6%, ma si possono utilizzare quantità di lubrificante variabile in un ampio intervallo in funzione della solubilità e delle caratteristiche desiderate del materiale solidificato. Infatti, maggiori quantità di lubrificante opacizzano e rendono satinata la superficie solidificata.

Sono state testate resine della SpotA Materials, in particolare della Classe HT e della classe LV.

In particolare, nell'apparato costruito ai fini di svolgere la funzione di dimostratore scientifico, sono stati effettuati i test a seguire:

96% Resina tipo HT + 4% Olio Siliconico: tempo di polimerizzazione ad una distanza di 200mm pari a 990ms, tempo di bagnamento per 6mm pari a 1100 ms, spessore dello strato 200 micron, durata di stampa della membrana siliconica nello stesso punto 280mm;

96% Resina tipo LV (Low Viscosity) + 4% Olio Siliconico: tempo di polimerizzazione ad una distanza di 200mm pari a 600ms, tempo di bagnamento per 6mm pari a 400ms, spessore dello strato 200 micron, durata di stampa della membrana siliconica nello stesso punto 80mm (prestazioni di stampa quasi doppie rispetto alla HT ma estremamente aggressivo per la durata della membrana);

80% Resina tipo HT + 16% Resina Tipo LV (Low Viscosity) + 4% Olio Siliconico: tempo di polimerizzazione ad una distanza di 200mm pari a 800ms, tempo di bagnamento per 6mm pari a 800ms, spessore del

layer 200 micron, durata di stampa della membrana siliconica nello stesso punto 160mm (condizione di compromesso con uso di membrana di spessore 1mm);

In particolare, per quanto riguarda la possibile presenza di PTFE 16 nella membrana 13, in aggiunta al lubrificante 15, è stato verificato che la presenza di PTFE nel lubrificante migliora le caratteristiche di lubrificazione, riduce gli attriti e migliora la durata della membrana 13 riducendo l'usura, ma non è essenziale. I fenomeni descritti si verificano positivamente anche con lubrificanti a base di soli oli siliconici o resine lubrificanti per sformatura.

Infine, è stato verificato che, durante la formazione dell'oggetto, il materiale lubrificante che ricopre la membrana 13 tende ad essere asportato, questa riduzione dello strato inibitore 14 porta a contatto la resina (ovvero il polimero liquido foto-indurente) con la membrana 13, generando tutti gli effetti indesiderati noti dei sistemi bottom-up.

Per limitare questo problema, la membrana 13 autolubrificante viene preferibilmente realizzata secondo una tecnica di iniezione del polimero di base, in fase liquida, opportunamente drogato con olio siliconico e PTFE, all'interno di uno stampo caldo di acciaio, le cui facce hanno subito un doppio trattamento di specchiatura e di cromatura, ed attendendo il tempo necessario per la solidificazione. Con riferimento alla figura 3, questo intervento consente di ridurre (in aggiunta alla presenza delle particelle di PTFE) la rugosità superficiale della

membrana 13, aumentandone notevolmente la durata di stampa.

Le superfici dello stampo devono essere trattate con opportune finiture meccaniche per ottenere l'adeguata rugosità superficiale della membrana. In particolare, la superficie lato polimero liquido deve risultare particolarmente liscia. È opportuno sottoporre la parete dello stampo preposta a formare tale superficie ad un trattamento di cromatura e di lucidatura. Questo intervento consente di ridurre la rugosità superficiale della membrana e di aumentare la durata di stampa, prima che si deteriori.

I dati sperimentali ottenuti con il dimostratore scientifico avvalorano tale tesi. Infatti, per una membrana con spessore pari ad 1 mm, drogata con olio siliconico, utilizzata per realizzare un oggetto con stratificazioni di 200 micron, ottenute da una resina miscelata HT-LV-Oil; nel caso in cui la membrana è stata realizzata per iniezione con uno stampo sabbiato, la sua durata è pari a 80 mm sullo stesso punto, con uno stampo lucidato sulla faccia superiore è pari a 250 mm sullo stesso punto e con uno stampo lucidato e cromato sulla faccia superiore è di 380 mm sullo stesso punto.

In conclusione, l'aumento della durata della membrana nel processo di stampa è legato alla sua finitura superficiale, più la superficie a contatto con la resina è liscia più ne aumentano le prestazioni in termini di durata.

Un ulteriore intervento possibile è quello di post

lavorare la membrana ottenuta per iniezione con un trattamento di plasmatura (utilizzato per la sterilizzazione della strumentazione medica) che ha lo scopo di intervenire sulla superficie a livello molecolare per la chiusura dei pori superficiali.

A titolo illustrativo e non limitativo della presente invenzione, verrà ora illustrata la modalità di funzionamento del metodo e dell'apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali secondo la presente invenzione.

Come già descritto nelle pagine precedenti, e facendo riferimento alla figura 4, la presenza di una membrana 13 realizzata in materiale autolubrificante opportunamente drogato e trattato porta ad una lenta migrazione delle particelle 15 di olio siliconico, e più in generale di materiale lubrificante, verso la superficie, creando un strato superficiale 14 estremamente sottile, denominato strato inibitore lubrificante 14; si genera quindi una interfaccia di contatto tra la resina 17 ancora liquida e la membrana 13, nella quale la resina, invece di andare a contatto con la superficie della membrana 13, tende a galleggiare sull'interfaccia; il processo di foto-indurimento avviene pertanto sospeso su uno strato inibitore lubrificante 14 di olio siliconico, cosa che consente di: eliminare l'effetto ventosa tra l'oggetto formato 18 e la membrana 13, eliminare le aderenze tra l'oggetto formato 18 e la membrana 13, ridurre gli stress meccanici introdotti dagli effetti sopracitati,

ridurre gli stress meccanici introdotti dal basculamento, consentire un processo di formazione in tempi molto ridotti rispetto alle soluzioni della tecnica nota.

Come verrà descritto in seguito, con riferimento alla determinazione dell'equazione del tempo di formazione di un oggetto 18 mediante il metodo e l'apparato della presente invenzione, tale processo consente appunto la formazione dell'oggetto 18 senza la necessità di basculamento. Infatti, l'oggetto 18 non ha bisogno di essere strappato dal fondo vasca, perché nasce già sospeso su di esso, nell'interfaccia tra strato inibitore lubrificante 14 e resina/polimero 17. Tale sospensione, inoltre, consente al polimero liquido o resina 17, mentre la piastra di estrazione 19 si alza per far spazio alle nuove formazioni indurite, di penetrare in questo strato di interdizione, consentendo non solo la stampa sequenziale, ma anche in continuo.

Per raggiungere questo obiettivo è però necessario che la resina, ovvero il polimero liquido 17, si infiltri sufficientemente velocemente da far sì che lo strato 20 che va formandosi non solidifichi prima che la stessa sia riuscita a bagnare completamente tutta la nuova superficie da indurire.

Prova sperimentale di quanto detto sarà evidente dalla figura 5, in cui nei riquadri sono riportati i campioni di stampa ottenuti al variare dei tempi di polimerizzazione e dei tempi di bagnamento, con l'uso di resina del tipo miscela HT-LV-Oil.

Dall'immagine del riquadro 1 a quella del riquadro

6, gli oggetti sono stati ottenuti per strati di 200 micron, con stampa sequenziale, tenendo costante il tempo di bagnamento tba 350 micron e variando solo il tempo di polimerizzazione dai 700 ms del riquadro 1 ai 1200 ms del riquadro 6; si denotano immediatamente i due fenomeni previsti:

- il tempo di polimerizzazione risulta già corretto a 900 ms del riquadro numero 3, già dal quarto riquadro fino al sesto risultano evidenti i fenomeni di sovrapolimerizzazione per sovraesposizione;

- già nel primo riquadro, nei cilindri di dimensione superiore (3, 4, 5, 10, 20 mm di diametro), si nota in maniera evidente come la parte centrale del cilindro sia vuota e rovinata, questo perché il tempo di bagnamento della resina a 350 ms era insufficiente a garantire il rinnovo integrale del nuovo strato in formazione.

Si noti invece nei riquadri dal 7 al 9, in cui è stato tenuto fisso il valore del tempo di polimerizzazione a 900 ms per uno strato di 200micron, e sono stati aumentati i tempi di bagnamento fino a 1500ms nel riquadro 9, come i cilindri siano risultati pienamente realizzati fino allo spessore del diametro di 15mm.

Questo esperimento caratterizza e valida in maniera univoca l'equazione del tempo che verrà nel seguito illustrata in maggior dettaglio, e che prevede appunto il bilanciamento tra tempo di polimerizzazione e tempo di bagnamento, in un sistema di produzione sequenziale, almeno parzialmente continuo.

In condizioni ideali, per raggiungere l'obiettivo di una stampa esclusivamente in continua ci sarebbe bisogno che la velocità di bagnamento fosse in ogni caso sufficientemente elevata da far sì che la resina riuscisse a bagnare tutta la superficie della piastra d'estrazione (che corrisponde alla massima dimensione di stampa) in un tempo in ogni caso inferiore al tempo di polimerizzazione caratteristico.

Per ridurre il tempo di rinnovo del polimero sotto alla porzione di oggetto già formato si ha quindi la necessità di intervenire sulla velocità di bagnamento. Questo parametro dipende da molte caratteristiche chimico/fisiche della resina in uso (ovvero del polimero liquido foto-indurente in uso) ed abbassarne la viscosità è certamente uno degli interventi che dà i migliori risultati.

Facendo riferimento alla figura 6, uno degli elementi di maggiore innovazione della tecnologia secondo la presente invenzione è quello di aver introdotto il concetto di drogaggio della resina/polimero 17 con olii siliconici lubrificanti 15' identici a quelli prodotti dalla membrana 13. In percentuali ben determinate, questo intervento ha consentito il raggiungimento di due importanti risultati: un notevole aumento della velocità di bagnamento, e quindi possibilità di stampare in continua superfici di dimensioni superiori senza la necessità di passare ad una stampa sequenziale; e un notevole allungamento della durata del materiale autolubrificante con cui è realizzata la membrana 13,

la resina/polimero 17, essendo drogata con lo stesso materiale dell'interfaccia, tendendo a consumare più lentamente il substrato inibitore 14.

Con l'adozione di questa tecnologia si è reso necessario rivedere il processo di "slicing" dell'oggetto tridimensionale da realizzare.

Immaginando di voler produrre un oggetto 18 trilitico del tipo mostrato con riferimento alla figura 7A, supponendo che nel primo strato formato (anche se non sarebbe corretto parlare di strato, dal momento che la formazione dell'oggetto 18 avviene in continuo), la superficie di ogni singola sezione delle colonne 18' dell'oggetto 18 trilitico sia sufficientemente piccola da permettere il rinnovo della resina/polimero durante la polimerizzazione dello strato stesso, in tal caso il processo di estrazione sarebbe continuo, quando si arriva allo strato relativo alla trave 18", la sezione dell'oggetto 18 diviene così grande che il tempo di rinnovo della resina/polimero è superiore al tempo di polimerizzazione, in tal caso il sistema è costretto ad arrestarsi per consentire il completamento del rinnovo della resina/polimero, per quindi passare ad un sistema non più continuo, ma sequenziale.

Sempre tenendo presente l'esempio dell'oggetto 18 trilitico appena citato e mostrato con riferimento alla figura 7, è possibile riassumere le nuove caratteristiche di estrazione, come segue.

Il processo di basculamento, caratteristico dei sistemi di fotoindurimento secondo la tecnica nota, è stato totalmente sorpassato passando ad un movimento in

ogni caso sequenziale, l'oggetto 18 in formazione sospeso sullo strato inibitore lubrificante 14 non deve più essere staccato dal fondo della vasca, e nei casi in cui la superficie in gioco sono sufficientemente piccole da consentire il rinnovo immediato della resina/polimero 17, si raggiunge il limite di estrazione in continua.

Nel seguito viene definito il modello matematico che caratterizza la tecnologia secondo la presente invenzione, evidenziando le caratteristiche che determinano il sistema di estrazione misto, che può essere definito sequenziale parzialmente continuo.

È possibile definire:

H = altezza totale dell'oggetto da produrre

hn = spessore dello strato n-esimo

n = strato n-esimo

$|x_n, y_n|_{\max}$ = dimensione lineare massima della sezione dello strato n-esimo

tp = tempo di polimerizzazione per unità di altezza

tr = tempo di bagnamento o tempo di rinnovo di resina/polimero

vp = velocità di polimerizzazione nello stato di stampa continuo

vb = velocità di bagnamento o velocità di rinnovo di resina/polimero

T = tempo complessivo di stampa dell'oggetto

Facendo riferimento alla figura 8, in cui è riportata una rappresentazione grafica del tempo di rinnovo o tempo di bagnamento, ossia il tempo in cui la

resina 17' allo stato liquido transitando tra l'oggetto 18 ormai solidificato e il substrato inibitore lubrificante 14, tende a ricoprire tutta la nuova superficie di stampare.

Il tempo t_r è pertanto definibile per ogni n-esimo strato ed è dipendente da due fattori, la velocità di bagnamento (v_r) e, come riportato in figura 9, la distanza di bagnamento, definita dall'operatore $|X_n, Y_n|_{\max}$, ossia la massima coordinata x, y prodotta dalla più grande superficie da solidificare dello strato n-esimo.

Per quanto concerne la velocità di rinnovo della resina/polimero, dipendente da molti fattori (temperatura e viscosità del liquido, coefficiente di attrito della superficie dell'oggetto appena solidificato, coefficiente di attrito dello strato inibitore lubrificante, etc) sarà considerato in prima approssimazione costante nell'applicazione in questione, viste le modeste distanze in gioco.

Si richiama solo l'attenzione sulla dipendenza della velocità di rinnovo dalla viscosità del polimero foto-indurente, perché questo è uno degli elementi di intervento della tecnologia secondo la presente invenzione per aumentare il valore di v_r , e quindi tendere ad un processo esclusivamente continuo.

Tutto ciò premesso, è possibile quindi definire il tempo di rinnovo dello strato n-esimo:

$$t_{rn} = \frac{|x_n, y_n|_{\max}}{v_r}$$

il numero totale di strati N:

$$N = \frac{H}{h_n}$$

da cui si ottiene l'equazione del tempo caratteristica della componente sequenziale della tecnologia secondo la presente invenzione:

$$T = \sum_1^N t_{rn} = \sum_1^N \frac{|x_n, y_n|_{max}}{v_r}$$

Si pone infine la condizione di applicazione, che risulterà quindi essere valida nel caso in cui il tempo di polimerizzazione t_p dello strato n -esimo risulti inferiore al tempo di rinnovo t_r sempre dello stesso strato. Difatti, se la resina che sta penetrando solidifica prima di aver ricoperto tutta la superficie da polimerizzare, la parte centrale risulterà inevitabilmente cava, generando come sarà mostrato nelle prove sperimentali riportate negli esempi che seguono, una sorta di effetto di formazione a ciambella.

Al contrario, qualora il tempo di polimerizzazione dello strato n -esimo fosse superiore al tempo di rinnovo (se si considera v_r costante per il sistema, t_r dipende quindi solo dall'operatore $|x, y|_{max}$, quindi dalla dimensione massima tra le superfici da solidificare), si passerebbe ad un sistema di estrazione di tipo continuo. Pertanto, si perderebbe il concetto di strato discreto, passando ad una analisi di tipo integrale. Quindi, si definisce dn l'ennesimo strato di spessore infinitesimo, H l'altezza dell'oggetto da stampare e v_p una costante pari alla velocità di polimerizzazione, dipendente in prima approssimazione dalle caratteristiche della sorgente

luminosa e dalla tipologia e quantità di catalizzatori che costituiscono la resina/polimero, da cui è possibile definire l'equazione del tempo caratteristica della componente in continua semplicemente come:

$$T = \int_0^H \frac{dn}{v_p} = \frac{H}{v_p}$$

Da quanto detto consegue che, nel caso in cui l'oggetto da produrre soddisfi la condizione per la quale, per tutta la sua altezza H, il tempo di rinnovo è sempre inferiore al tempo di polimerizzazione dello strato n-esimo, la stampa è totalmente in continua, raggiungendo la migliore prestazione possibile, ottenendo il minor tempo di stampa e la migliore qualità meccanica dell'oggetto, che perde la classica formazione a gradini delle tecnologie secondo la tecnica nota.

Per questo motivo, come si è descritto in precedenza, gli aspetti dell'invenzione in grado di migliorare maggiormente le condizioni di stampa sono quelli rivolti all'aumento della velocità di rinnovo, quindi all'abbassamento della viscosità del liquido e alla drastica riduzione dei coefficienti di attrito.

Nelle pagine che seguono sono riportati i dati sperimentali ottenuti dal dimostrare scientifico realizzato per verificare empiricamente la validità della presente invenzione, dai quali risultano valorizzate le costanti relative alle velocità di polimerizzazione e di rinnovo per determinare in maniera certa le prestazioni di processo ottenute dalla tecnologia secondo la presente invenzione.

Si noti come, secondo la presente invenzione, parametri caratteristici delle tecnologie DLP e SLA, come il tempo e la velocità di basculamento, i valori di superficie dello strato n-esimo, i tempi di discesa della piastra di estrazione, sono del tutto scomparsi, sia nella componente sequenziale che in quella continua dell'equazione di riferimento, con una conseguente riduzione della velocità di stampa.

Si evidenzia, infine, come la componente in continua del sistema secondo la presente invenzione sia dipendente esclusivamente dall'altezza dell'oggetto da produrre.

Questo significa che, con la tecnologia secondo la presente invenzione, la quantità di oggetti contemporaneamente prodotti sulla piastra di estrazione non influenza il tempo di stampa complessivo, che dipenderà esclusivamente dall'oggetto più alto.

Ricapitolando, come anticipato nell'introduzione, qualunque sistema di foto-indurimento di tipo bottom-up deve fare i conti con le due problematiche principali, che nascono dalla necessità di formare l'oggetto dal basso verso l'alto: creare sistemi antiaderenti per prediligere l'attacco verso l'alto dello strato che si va formando e ridurre lo stress meccanico generato dall'effetto ventosa, che agisce sullo strato estremamente sottile appena formato.

Problemi di secondo livello, se possibile ancora più complessi, che in ogni caso devono essere affrontati per la buona riuscita del processo di stampa secondo le tecnologie di tipo noto sono la compressione

del primo strato sulla piastra d'estrazione, la protezione della membrana antiaderente sottoposta a continuo stress, che ne compromette la funzionalità e la durata nel tempo, ed infine il contenimento dell'assorbimento elettromagnetico delle membrane, che vengono interposte tra la sorgente luminosa e la resina fotosensibile.

La tecnologia secondo la presente invenzione, la cui componente essenziale nuova e inventiva risiede nella formazione e nel mantenimento del substrato inibitore autolubrificante, risponde in maniera completa a tutti i temi sopracitati. Il successo dei risultati sperimentali che si vedranno negli esempi a seguire risiede nella tecnologia adottata, che non tenta di alleviare ma riesce ad evitare le problematiche associate all'effetto ventosa e all'aderenza.

Negli esempi che seguono saranno riportati i risultati di confronto tra la tecnologia DLP di tipo noto e quella secondo la presente invenzione, e saranno infine confrontati i risultati tra il tentativo di stampa sequenziale con tecnologia standard DLP e stampa sequenziale con la creazione di un substrato lubrificato secondo quanto previsto dalla tecnologia secondo la presente invenzione.

Per l'analisi ed il confronto delle ipotesi scientifiche sono stati realizzati due dimostratori, uno tradizionale di tipo DLP e uno con l'adozione della tecnologia secondo la presente invenzione.

Esempio 1. Oggetto prodotto con tecnologia DLP e basculamento della piastra d'estrazione

Macchina Utilizzata: Dimostratore Scientifico Tradizionale DLP

Spessore degli strati: 200 micron

Altezza oggetto di stampa: 35mm

Tempo di realizzazione: 76 minuti

Velocità di Stampa: 21,7 minuti/cm

Facendo riferimento alla figura 10, la qualità di stampa risulta essere buona, l'oggetto gode di buona resistenza meccanica e superficialmente è preciso, si denota solo la stratificazione dovuta proprio al processo di basculamento. Non si riscontrano difformità rispetto al file inoltrato per la stampa. Tutte le parti risultano stampate. La base risulta spessa meno del millimetro previsto per sovracompressione dei primi strati formati.

Esempio 2. Oggetto prodotto con tecnologia DLP, con estrazione senza basculamento

Macchina utilizzata: Dimostratore Scientifico Tradizionale DLP

Spessore dello strato: 200 micron

Altezza oggetto di stampa: 35mm

Tempo di Realizzazione: 227 secondi

Velocità di Stampa: 1,8 minuti/cm

Note: Facendo riferimento alla figura 11, la qualità di stampa non è ammissibile, la superficie è rugosa e indefinita, non tutte le parti superiori a 0,5mm di spessore sono state realizzate. L'oggetto non riproduce totalmente il file prodotto. La base, avendo

una dimensione troppo estesa, non è stata realizzata.

Esempio 3. Oggetto prodotto con tecnologia secondo la
presente invenzione sequenziale parzialmente continua

Macchina utilizzata: Dimostratore Scientifico
Tradizionale DLP

Spessore dello strato: 200 micron

Altezza oggetto di stampa: 35mm

Tempo di realizzazione: 175 secondi

Velocità di stampa: 50 secondi/cm

Note: Facendo riferimento alla figura 12, la qualità di stampa è totalmente corretta e correttamente definita anche la base, che risulta essere l'unica parte dell'oggetto realizzata secondo lo schema sequenziale per via della dimensione, la restante parte dell'oggetto è risultata stampata in continua, perché le superfici ridotte hanno consentito che il tb fosse inferiore al tp, pertanto l'oggetto è stato realizzato con una velocità inferiore al centimetro a minuto. La superficie è perfetta secondo una analisi a vista e al tatto.

I risultati ottenuti hanno permesso di dimostrare come il metodo e l'apparato di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali della presente invenzione, ossia l'utilizzazione di una vasca realizzata con una membrana semi-elastica di materiale autolubrificante, in grado di interporre tra la membrana stessa e il polimero da solidificare un sottile strato inibitore, di concerto con un opportuno drogaggio del materiale d'origine, ed un software in grado di gestire i tempi

di estrazione, consentano la realizzazione di un processo sequenziale e parzialmente continuo, notevolmente più veloce e preciso di formazione dell'oggetto tridimensionale.

Le conclusioni sperimentali hanno inoltre dimostrato come il metodo di foto-indurimento a substrato auto-lubrificante per la formazione di oggetti tridimensionali della presente invenzione possa essere applicato più in generale alla realizzazione di stampanti tridimensionali per foto-indurimento, consentendo una velocità di formazione dell'oggetto fino a due ordini di grandezza superiore alle attuali tecnologie, che richiedono un movimento basculante della piastra di estrazione per consentire il processo di stratificazione layer-by-layer, senza tralasciare i benefici meccanici conferiti all'oggetto stesso, realizzato secondo tale processo di formazione anziché a gradini.

La presente invenzione è stata descritta a titolo illustrativo, ma non limitativo, secondo sue forme preferite di realizzazione, ma è da intendersi che variazioni e/o modifiche potranno essere apportate dagli esperti nel ramo senza per questo uscire dal relativo ambito di protezione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1) Metodo di formazione di oggetti tridimensionali mediante foto-indurimento di un polimero liquido esposto ad una radiazione, in cui detti oggetti tridimensionali si formano per accrescimento, dovuto al progressivo indurimento di detto polimero liquido, nello spazio confinato tra una lastra trasparente a detta radiazione e una piastra di supporto, ovvero una porzione già formata di detti oggetti, detta piastra di supporto allontanandosi progressivamente da detta lastra trasparente, caratterizzato dal fatto di mantenere uno strato di materiale lubrificante liquido sul lato di detta lastra trasparente rivolto verso detto polimero liquido.

2) Metodo di formazione di oggetti tridimensionali mediante foto-indurimento di un polimero liquido, secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto polimero liquido contiene a sua volta detto materiale lubrificante liquido.

3) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali mediante foto-indurimento di un polimero liquido mediante esposizione ad una radiazione, del tipo comprendente una vasca di raccolta (10) di detto polimero liquido, sul fondo di detta vasca essendo presente un foro (11) ricoperto da una lastra (12), detta lastra (12) essendo realizzata con un materiale trasparente a detta radiazione, e una piastra di supporto atta a muoversi allontanandosi da detta lastra (12), caratterizzato dal fatto di comprendere mezzi per la formazione di uno strato di

lubrificante liquido sopra a detta lastra (12).

4) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti mezzi per la formazione di uno strato di lubrificante liquido sopra a detta lastra (12) comprendono una membrana (13), realizzata con un polimero al cui interno è presente detto lubrificante liquido.

5) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detto polimero è silicone.

6) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali secondo una delle rivendicazioni 3-5, caratterizzato dal fatto che detto lubrificante liquido è olio di silicone.

7) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detto olio di silicone ha viscosità compresa tra 50 e 1000 mm²/s (definita secondo modello centistoke CSt a 23°C), preferibilmente tra 300 e 400 mm²/s.

8) Apparato di formazione di oggetti tridimensionali secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4-7, caratterizzato dal fatto che all'interno di detta membrana (13) è ulteriormente presente politetrafluoroetilene PTFE.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

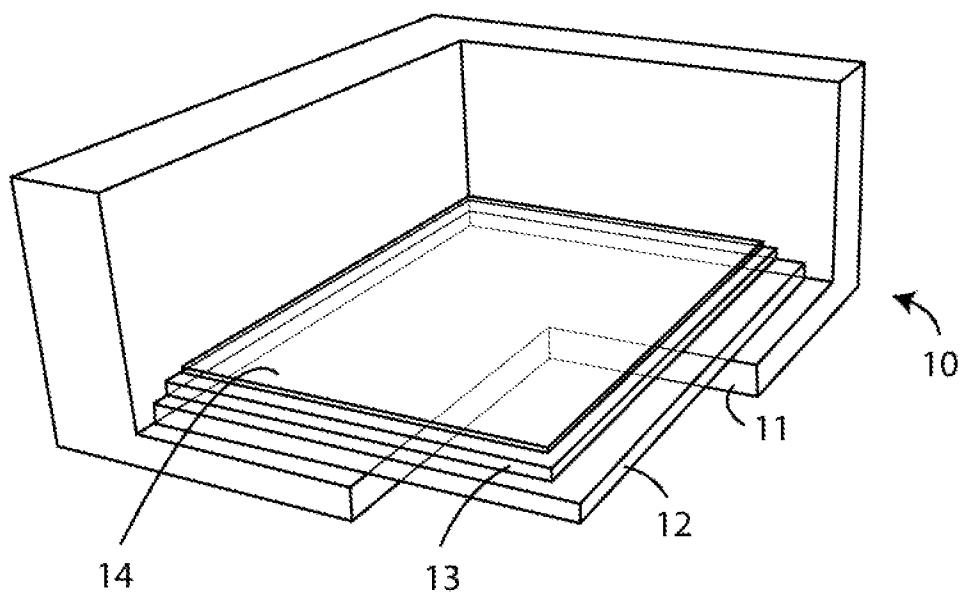


Fig. 1

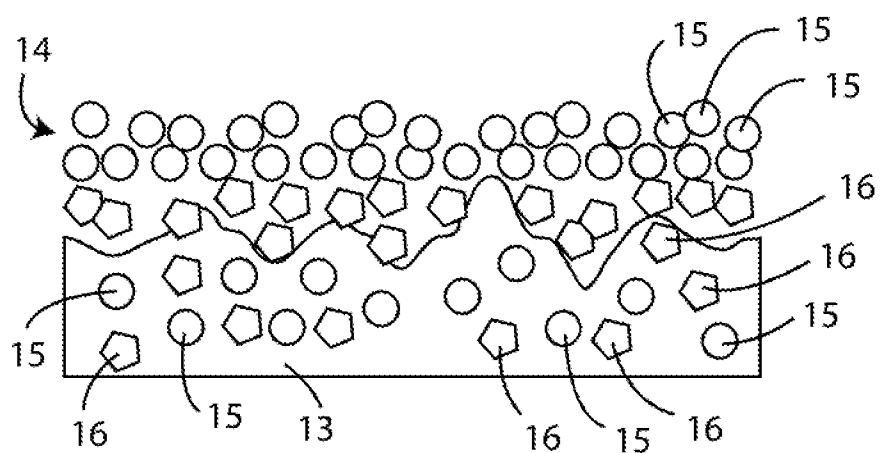


Fig. 2

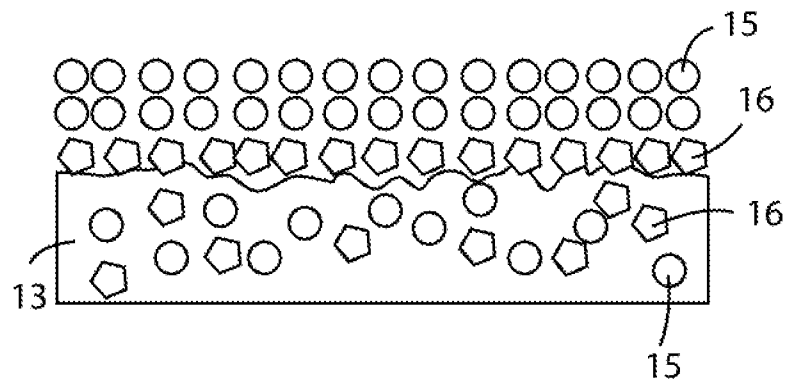


Fig. 3

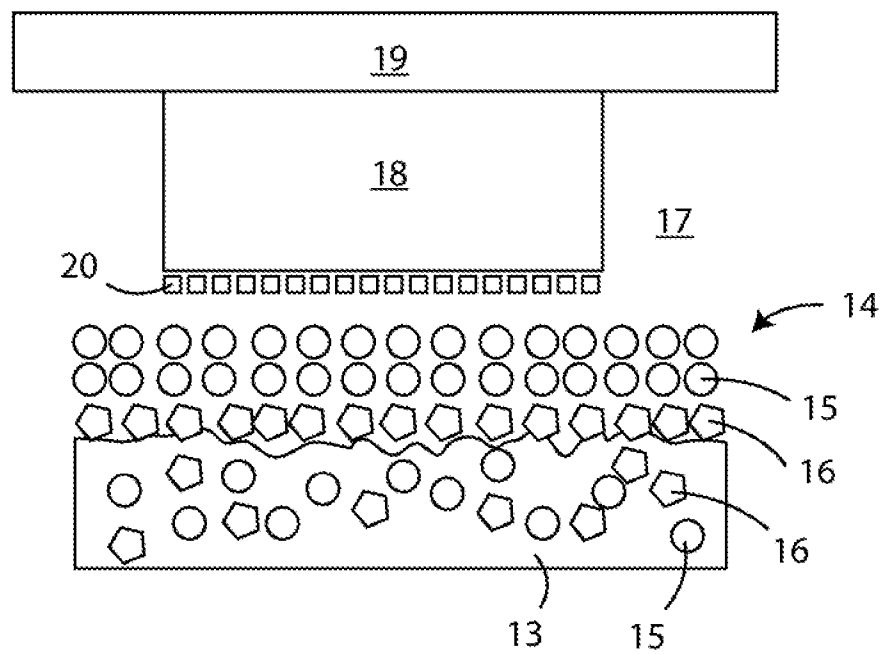


Fig. 4

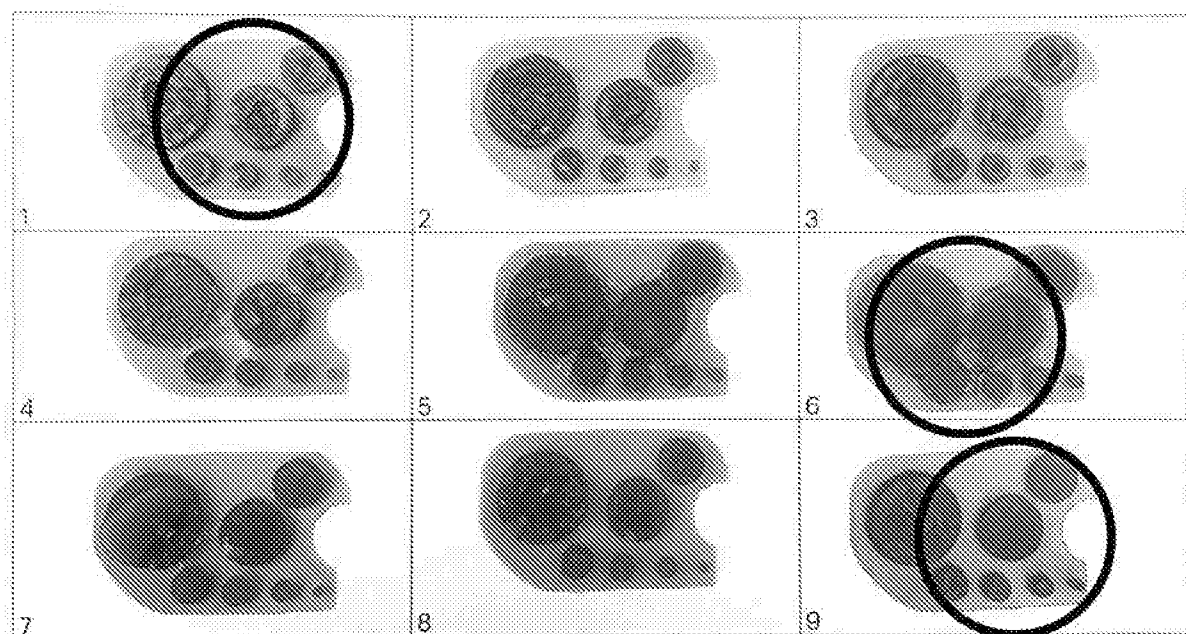


Fig. 5

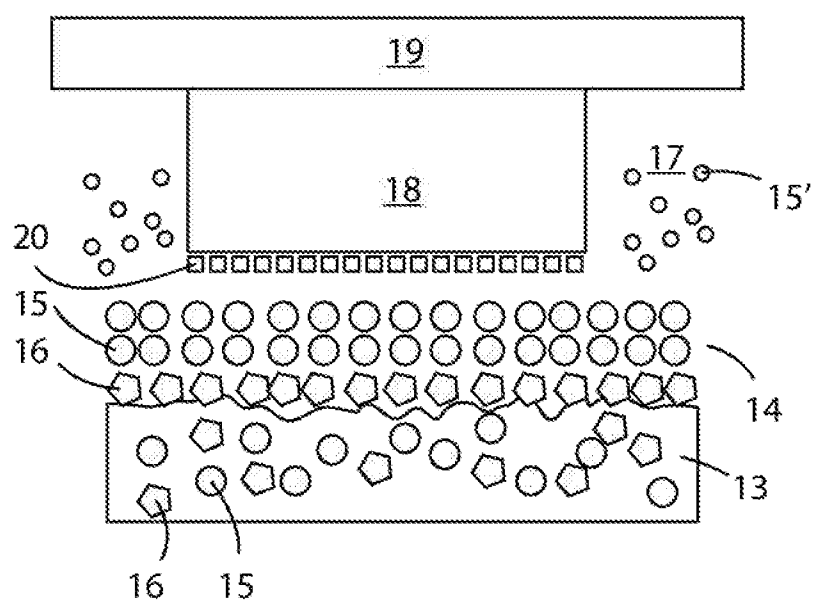


Fig. 6

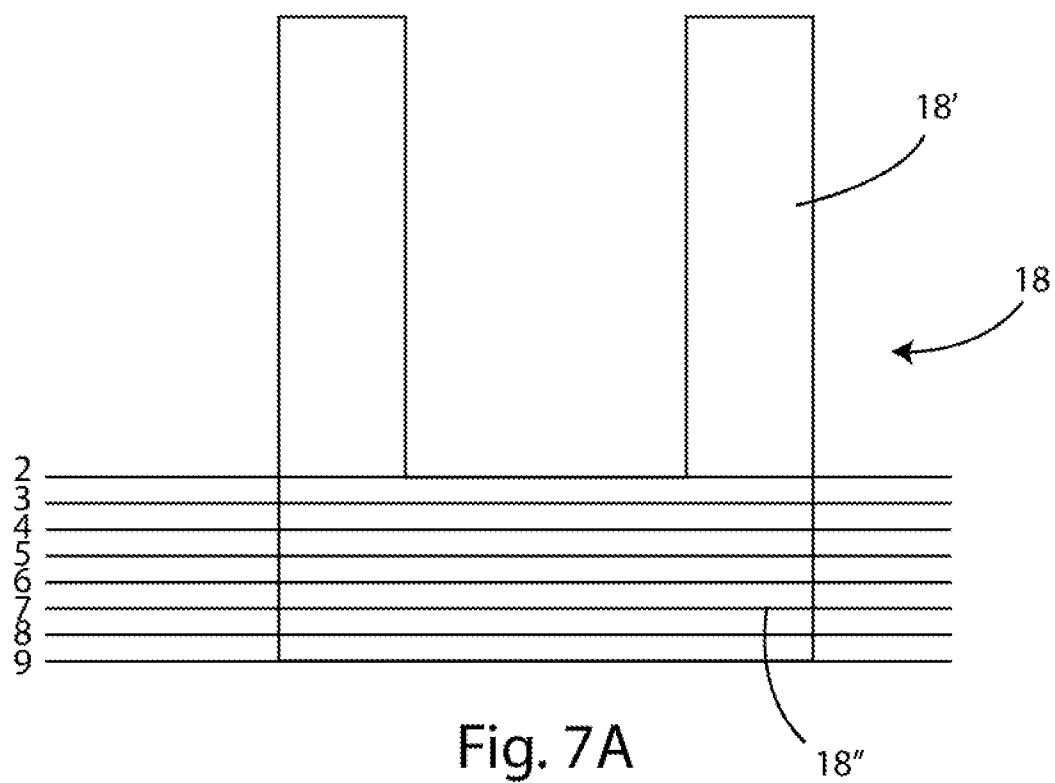


Fig. 7A

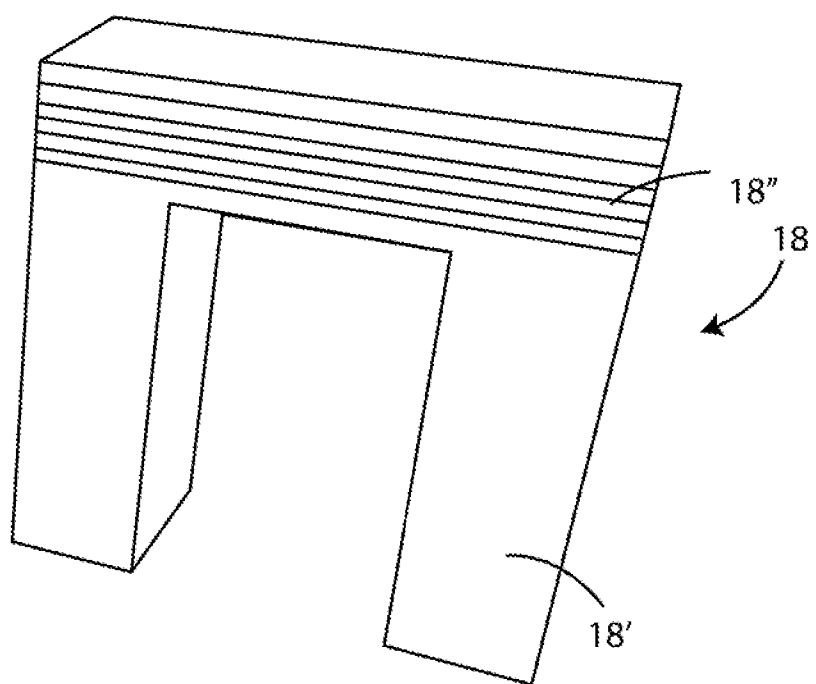


Fig. 7B

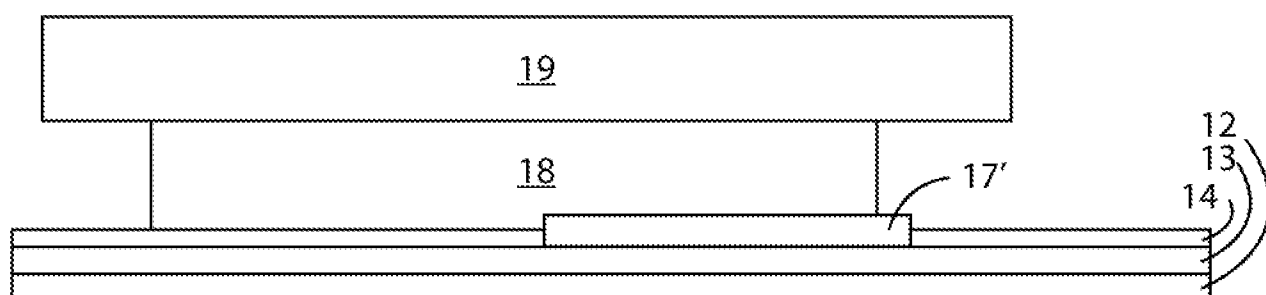


Fig. 8

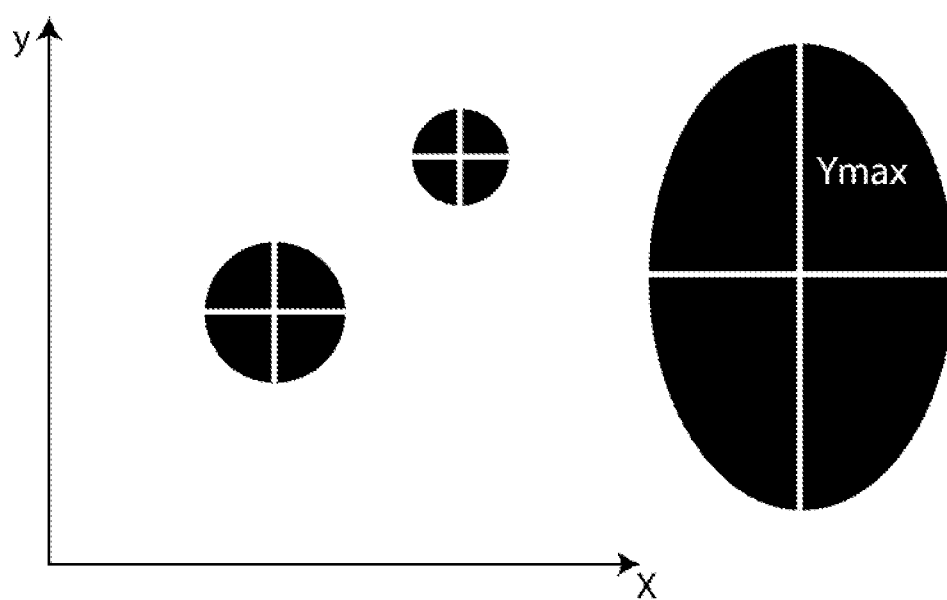


Fig. 9

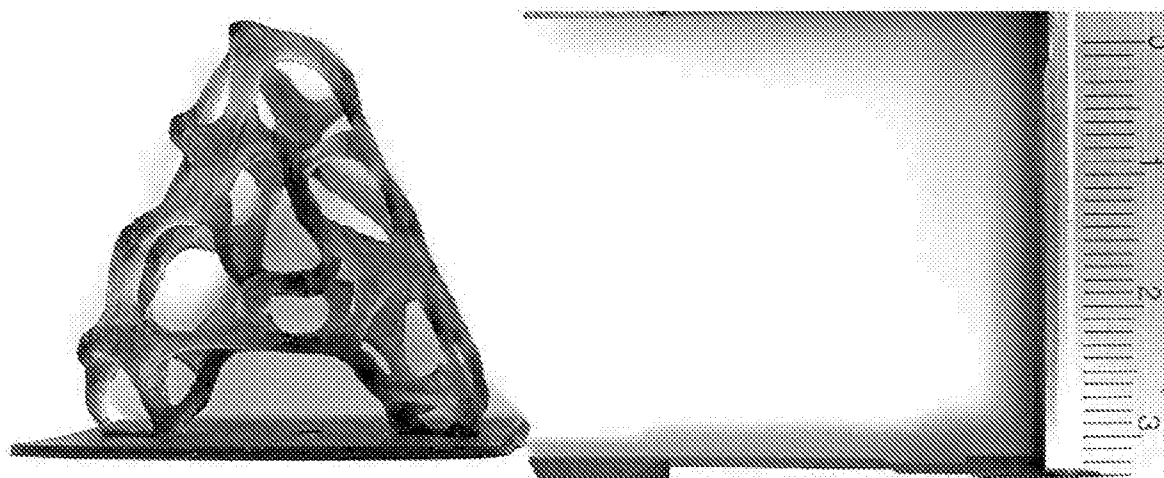


Fig. 10

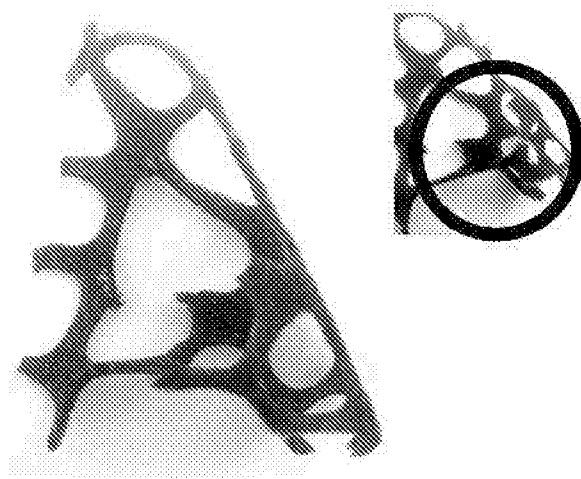


Fig. 11

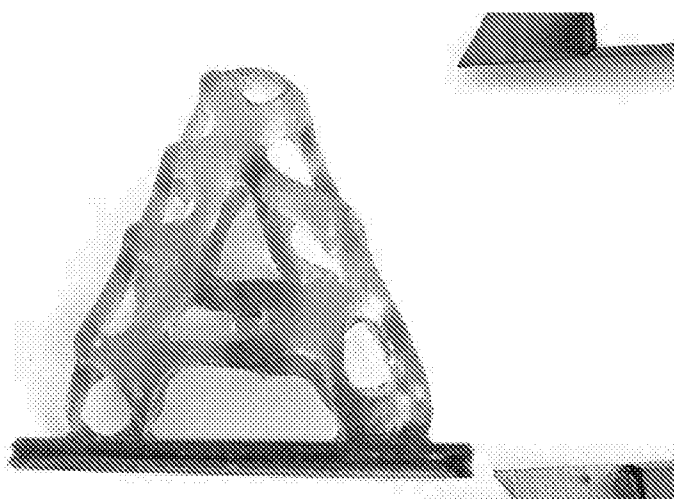


Fig. 12