

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901807440A1

Publication Date

20110808

Applicant

PRIMA INDUSTRIE S.P.A.

Title

PROCEDIMENTO DI MONITORAGGIO DELLA QUALITA DI PROCESSI DI
LAVORAZIONE LASER E RELATIVO SISTEMA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Procedimento di monitoraggio della qualità di processi di lavorazione laser e relativo sistema",

di: Prima Industrie S.p.A., nazionalità italiana, via Antonelli, 32 - 10097 Collegno (TO)

Inventori designati: Paolo CALEFATI

Depositata il: 8 febbraio 2010

★ ★ ★

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda un procedimento di monitoraggio della qualità di processi di lavorazione laser, in particolare taglio o saldatura e un relativo sistema.

La regolazione dei parametri tecnologici in tempo reale, o real time, ed il mantenimento di una qualità di lavorazione costante in processi di taglio e saldatura, ad esempio taglio e saldatura laser, ma anche processi di lavorazione quale cladding e trattamento termico, hanno un grande impatto sulla produzione industriale e sulla qualità del prodotto. La lavorazione intelligente da parte delle macchine di taglio/saldatura consente l'ottimizzazione e certificazione della produzione nonché la riduzione degli sprechi.

E' noto a questo riguardo operare il controllo della produzione e la certificazione della qualità tramite operatori o attraverso l'analisi dei lavorati per mezzo di strumentazione dedicata operante fuori linea. Ciò comporta degli inconvenienti in quanto la produzione deve comunque essere monitorata da un operatore addetto alla macchina e la correzione della cattiva qualità di lavorazione deve avvenire off line, fermando la produzione e regolando in modo empirico i parametri tecnologici di taglio/saldatura.

Sono altresì noti metodi di monitoraggio della qualità di taglio o saldatura che operano on line, durante

la produzione, anche utilizzando segnali di riferimento per il monitoraggio, ma che non permettono la correzione di cattive lavorazioni e la regolazione dei parametri tecnologici in real time. La regolazione e correzione dei parametri tecnologici è affidata all'esperienza dell'operatore.

La presente invenzione, inserendosi in tale contesto, si prefigge lo scopo di fornire ulteriori perfezionamenti, e in particolar modo di migliorare la precisione del monitoraggio e di permettere la regolazione e correzione dei parametri tecnologici on line, in real time, senza intervento umano.

Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto da un procedimento di monitoraggio avente le caratteristiche formanti oggetto della rivendicazione principale e da un relativo sistema. Ulteriori vantaggi vengono altresì ottenuti grazie alle caratteristiche delle rivendicazioni dipendenti.

La presente invenzione riguarda, inoltre, un prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria di un elaboratore numerico e comprendente porzioni di codice software per attuare il procedimento quando il prodotto è eseguito su un elaboratore lo scopo di aumentare la precisione. Forme di attuazione preferite di tale procedimento sono presentate nelle rivendicazioni dipendenti.

La presente invenzione verrà ora descritta dettagliatamente con riferimento ai disegni allegati, dati a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista prospettica di un sistema di lavorazione implementante il procedimento secondo l'invenzione,
- la figura 2 è uno schema a blocchi rappresentativo del procedimento secondo l'invenzione;

- la figura 3 è rappresentativa di una fase relativa al procedimento secondo l'invenzione;

- la figura 4 è rappresentativa di una ulteriore fase relativa al procedimento secondo l'invenzione.

In breve, il procedimento di monitoraggio secondo la presente invenzione opera per garantire una costante qualità del processo della lavorazione laser, in particolare taglio o saldatura, durante la produzione industriale, attraverso le seguenti operazioni:

- acquisizione di un segnale rappresentativo della qualità del processo di lavorazione in real time;
- creazione di un parametro di riferimento (soglie di energia) indicatore della qualità di lavorazione desiderata;
- elaborazione del segnale di processo in real time;
- identificazione della qualità di lavorazione e di un eventuale tipo di difetto;
- controllo del processo di lavorazione e correzione di eventuali difetti tramite la regolazione dei parametri tecnologici della lavorazione, in particolare taglio o saldatura laser in real time.

Il mantenimento della qualità desiderata durante il processo di lavorazione si basa dunque sull'analisi di segnali rappresentativi della qualità di processo riferiti ad un determinato parametro ottenuto da un segnale generato ed acquisito durante la lavorazione di un pezzo campione o di riferimento la cui qualità è quella desiderata, o comunque predeterminata.

Le operazioni sopra descritte comprendono preferibilmente l'identificazione tra geometria del lavorato e qualità del processo, che prevede di

identificare, a livello di modulo di controllo numerico della macchina di lavorazione, la qualità di lavorazione, in particolare taglio/saldatura, per ogni parte lavorata. In altre parole, il modulo di controllo numerico opera tenendo conto di come e quando, ossia dell'istante temporale in cui viene valutata la qualità e di quale punto della traiettoria di lavorazione (es. curva di taglio) corrisponde a quell'istante, si sta lavorando ogni determinata parte del lavorato. In particolare, viene tenuto conto della direzione di lavorazione. Tale associazione fra geometria del lavorato e qualità del processo favorisce l'identificazione della qualità di taglio in real time, ovvero l'operazione di monitoraggio avviene per ogni determinato e deterministico tempo e per un determinato deterministico spazio che il modulo di controllo numerico controlla.

In figura 1 è mostrato uno schema a blocchi di principio di una macchina di lavorazione d'esempio adatta per implementare il procedimento secondo l'invenzione, dove con 510 è indicata una testa di lavorazione laser, ad esempio di saldatura o taglio, che emette un fascio laser 530 di saldatura o taglio verso un pezzo in lavorazione 520. La testa 510 è montata mobile per operare su una pluralità di assi attraverso un sistema di attuatori 550. Tale sistema di attuatori 550 comprende gli attuatori per spostare la testa di lavorazione 510 lungo gli assi e comprende altresì attuatori per regolare parametri di processo. Tale testa di lavorazione laser 510 reca un sensore ottico 540 per ricevere una radiazione R riflessa dal processo, ossia dalla lavorazione sul pezzo 520, ad esempio la pozza di fusione. Il segnale del sensore ottico 540 è amplificato tramite un amplificatore 610 e acquisito tramite una scheda di acquisizione 620, ad esempio un convertitore analogico-digitale, per generare un segnale

del processo Xp, che viene inviato a un sistema di elaborazione 700, ad esempio un personal computer, o altro elaboratore o sistema di elaboratori. Il segnale di processo Xp è sostanzialmente un segnale che viene emesso durante la normale lavorazione, per esempio con la macchina di lavorazione in condizioni non presidiate, ossia in assenza di un operatore che sovrintenda la qualità della lavorazione. Il sistema di elaborazione 700 è adatto a pilotare, attraverso un modulo di controllo 400 degli attuatori della macchina di lavorazione, in tempo reale il sistema di attuatori 550. Il sistema di elaborazione 700 opera tale controllo in funzione delle impostazioni e dei programmi di lavorazione da eseguire da parte della macchina di lavorazione secondo criteri, di per sé noti, di controllo delle macchine a controllo numerico e dei robot di lavorazione. In tale ambito il sistema di elaborazione 700 fornisce anche, fra gli altri, valori di potenza del fascio laser, valori di pressione di taglio/saldatura e anche valori di regolazione dello standoff, così come, eventualmente, valori della posizione della focale della lente sulla lamiera. Per standoff si intende la distanza, ad esempio del TCP (Tool Center Point), ossia dell'utensile, dalla lamiera. Lo standoff deve essere controllato a valori noti, ad esempio, per tutto il processo di taglio/saldatura. Secondo un aspetto importante dell'invenzione, il sistema di elaborazione 700 è configurato per operare la regolazione o correzione dei parametri tecnologici della lavorazione, in particolare taglio o saldatura laser in real time al modulo di controllo degli attuatori 400 in base al segnale di processo Xp e all'informazione sulla qualità del processo derivata da tale segnale di processo Xp.

In figura 2 è mostrato uno schema a blocchi rappresentativo del procedimento secondo l'invenzione.

Con il blocco 500 è indicato il processo di lavorazione, ad esempio di taglio o saldatura laser. Tale processo di taglio o saldatura è eseguito da una macchina di lavorazione 400 come quella descritta con riferimento a figura 1. Con 600 è indicata un'operazione di acquisizione del segnale rappresentativo della qualità del processo di taglio/saldatura in real time, che può impiegare ad esempio i moduli 610 e 620 di figura 1. Tale operazione 600 include dunque di disporre un sensore ottico, come ad esempio il sensore 540, nelle vicinanze del processo di lavorazione laser per rilevare la radiazione riflessa R durante il processo di lavorazione laser. Il segnale di tale sensore ottico 540 rappresentativo del valore di intensità di radiazione riflessa R viene amplificato e eventualmente convertito per ottenere il segnale di processo X_p , cioè una serie temporale di valori di intensità di radiazione riflessa acquisiti a istanti determinati, prima di essere trasferito al sistema di elaborazione 700.

Tale segnale di processo X_p , ossia i valori di radiazione riflessa generati durante il taglio/saldatura laser, è rilevato in quanto può essere in generale elaborato per ricavare informazioni rappresentative della qualità del processo 500.

A tal scopo, in una fase preliminare, i valori di radiazione riflessa generati durante il taglio/saldatura laser possono venire filtrati, ad esempio tramite un filtro passa basso, ed analizzati in una rappresentazione tempo-frequenza per poi operare una scomposizione della rappresentazione per individuare bande di frequenza d'interesse. Si individuano in questo modo due bande di frequenza B_1 e B_2 significative, ossia intervalli di frequenza dello spettro del segnale di processo X_p intorno a due frequenze specifiche, indicate qui con F_1 ed F_2 , che sono considerate rappresentative della qualità del

processo. Tali bande possono avere ampiezza, ad esempio, di qualche Hz, intorno a tali frequenze $F1$ e $F2$. Tali frequenze significative $F1$ e $F2$ sono individuate ricercando bande di frequenza la cui energia varia al variare della qualità di lavorazione durante il processo laser, ad esempio le bande che presentano la maggiore variazione. Risulterà chiaro peraltro dal seguito della presente descrizione, che il procedimento di monitoraggio qui descritto opera anche in presenza di una selezione di bande di frequenza $B1$ e $B2$ sub-ottima. Tali frequenze significative $F1$ e $F2$ sono preferibilmente frequenze del processo di lavorazione laser che si trovano in un campo di frequenze acquisibile in un contesto industriale. A titolo di esempio tali valori sono dell'ordine di qualche KHz. Le operazioni di ricerca delle frequenze significative appena descritte avvengono in generale in fasi di analisi diverse dalle fasi di lavorazione, memorizzando i valori di frequenza $F1$ e $F2$ nel modulo di elaborazione 700 per l'uso con il processo proposto. L'identificazione dei valori di frequenza $F1$ e $F2$ significativi, in generale, può essere calcolata una volta sola, ad esempio come impostazione di fabbrica, il procedimento di monitoraggio secondo dell'invenzione non richiedendo necessariamente di calcolare la distribuzione tempo-frequenza ogni volta che si esegue una certa lavorazione, ma solo di operare i filtri, ad esempio passabanda, alle frequenze $F1$ e $F2$, conoscendone già a priori i valori.

Le bande $B1$ e $B2$ del segnale di processo Xp a tali frequenze $F1$ e $F2$ unitamente a una componente di tensione continua DC di tale segnale di processo Xp dal sensore 540 ed alla direzione di lavorazione, ad esempio direzione di taglio, DIR, sono impiegate per l'analisi di qualità. La componente di tensione continua DC del segnale di processo Xp può essere ottenuta tramite un filtraggio. Il

procedimento proposto, preferibilmente, prevede dunque di eseguire un'operazione di estrazione di energie significative 200 dal segnale di processo X_p , che comprende di procedere preliminarmente a un filtraggio del segnale di processo X_p , ad esempio passabasso. Successivamente, in un passo 210, si applicano due filtri passa-banda per ottenere le due bande B1 e B2 corrispondenti alle frequenze significative F1 ed F2, in questo modo selezionando le bande, ossia le ampiezze, relative a tali frequenze significative F1 ed F2. Vengono calcolate quindi in un passo 220 delle energie E1 e E2 relative a tali bande B1 e B2 corrispondenti alle frequenze significative F1 ed F2. Le energie E1 e E2 vengono calcolate impiegando la formula per il calcolo dell'energia di un segnale nel dominio del tempo. Indicando con $x_L^{Bp_i}$ il generico segnale nel dominio del tempo, dove Bp_i indica la rispettiva banda del segnale, l'energia corrispondente $E_{x_L}^{Bp_i}$ è :

$$E_{x_L}^{Bp_i} = \int_{-\infty}^{\infty} |x_L^{Bp_i}(t)|^2 dt$$

L'acquisizione 600 e l'elaborazione successiva del segnale di processo X_p , nei passi 210 e 220 avvengono in un tempo costante e deterministico (real-time), a istanti determinati. A titolo di esempio, viene acquisito un valore secondo un tempo deterministico, che può essere preferibilmente dell'ordine della decina di millisecondi, e in tale intervallo di tempo viene effettuato il monitoraggio della qualità e l'eventuale correzione dei parametri tecnologici.

E' previsto inoltre di associare ogni operazione di acquisizione 600 alla particolare posizione geometrica degli assi della macchina, e quindi a punti della traiettoria di lavorazione. Ciò è preferibilmente eseguito dall'interpolatore di macchina, non mostrato in figura 1 e

figura 2. Le strutture di servocontrollo in real time di macchine di lavorazione che comprendono interpolatori di macchina e servocontrollo di attuatori sono in generale note e non verranno qui discusse in dettaglio.

Prima di avviare la modalità di analisi del processo di lavorazione, è previsto di ricavare dei parametri di riferimento per il segnale di riferimento X_r , ossia un segnale di processo relativo a una lavorazione di riferimento, in particolare di una qualità desiderata o determinata. Per creare tale segnale di riferimento X_r è previsto di effettuare una lavorazione campione, ad esempio è previsto di tagliare una determinata icona, con la qualità di lavorazione desiderata o determinata. Il segnale di riferimento X_r viene ricavato per lavorazione, ossia specifico di un certo materiale, spessore, valore di focale e altri parametri che definiscono una certa lavorazione di cui si vuole monitorare la qualità e fornisce dei parametri di riferimento come energie di soglia, o energie del riferimento E_{1r} e E_{2r} , relative alle frequenze F_1 e F_2 , nonché un riferimento di continua DC_r , che sono memorizzate in un database tecnologico di macchina.

E' previsto quindi di confrontare le energie del segnale di processo X_p con le energie del segnale di riferimento X_r memorizzate per regolarlo rispetto a un riferimento di qualità determinato. In particolare, tale confronto comprende di normalizzare in un divisore 230 le energie E_1 e E_2 e la componente di tensione continua DC del segnale del sensore X_p , quest'ultima ottenuta tramite un modulo 215 che opera ad esempio un semplice filtraggio, rispetto alle soglie di riferimento che sono calcolate durante l'acquisizione del segnale di riferimento X_r . Ovvero vengono ricavate le grandezze normalizzate E_1/E_{1r} , E_2/E_{2r} , DC/DC_r , indicate in figura 2 rispettivamente come segnali normalizzati N_1 , N_2 e NDC .

I segnali normalizzati $N1$, $N2$ e NDC , unitamente all'informazione sulla direzione DIR del segnale di processo Xp , sono alla base dell'analisi di qualità.

Quantunque sia possibile in generale operare senza informazione sulla direzione DIR , tale informazione sulla direzione DIR potrebbe essere importante per tener conto delle eventuali asimmetrie e aberrazioni del processo, che sono di norma presenti nei sistemi e processi reali.

I valori di segnali di processo Xp acquisiti in una serie di istanti temporali, ad esempio, come detto, definiti in base al tempo deterministico per il real-time, ad esempio dell'ordine della decina di millisecondi, sono normalizzati come sopra descritto ed tali segnali normalizzati, $N1$, $N2$, NDC , DIR , organizzati in matrici perché costituiscano delle osservazioni x di dati dei modelli statistici di una procedura 300 di analisi del processo di lavorazione.

A questo riguardo, in figura 2 con 140 è indicato un modulo di memoria, ad esempio localizzato nel modulo di elaborazione 700 che controlla il processo di lavorazione, che immagazzina degli insiemi di parametri statistici (μ_k , Σ_k , Δ_k) che definiscono ogni modello addestrato θ_k , dove μ_k è una media, Σ_k una matrice di covarianza e Δ_k una matrice di transizione ricavate durante una fase di addestramento del modello, meglio illustrata nel seguito con riferimento a figura 4. Essi sono i coefficienti di equazioni statistiche che identificano i modelli relativi alle diverse condizioni di lavorazione, che possono corrispondere a stadi di difetto della lavorazione, stati di buona lavorazione o anche altri stati della macchina, come esemplificato più avanti con riferimento alla diagnostica ottica.

Il processo di analisi della qualità 300 comprende di stabilire a quale classe data, o modello, appartiene ogni

osservazione x di dati, la quaterna o matrice di dati $N1$, $N2$, NDC , DIR nel presente esempio.

In tale ambito, in un passo 310 viene eseguito un calcolo di probabilità, in particolare una densità di probabilità gaussiana d -dimensionale, tramite un'equazione che ha per costanti tali parametri statistici $(\mu_k, \Sigma_k, \Delta_k)$ del modello θ_k ottenuti tramite la fase di addestramento e disponibili dalla memoria 140, e per variabili tali osservazioni x , ossia i segnali normalizzati $N1$, $N2$ e NDC e il valore di direzione di lavorazione DIR acquisiti a un certo istante, che sono organizzati in una matrice delle grandezze normalizzate di dimensione 2×2 avente sulla prima riga le energie normalizzate $N1$ e $N2$ e sulla seconda riga la componente continua normalizzata NDC e la direzione di lavorazione DIR :

$$x = \begin{bmatrix} N1 & N2 \\ NDC & DIR \end{bmatrix}$$

In varie forme d'attuazione, la matrice delle grandezze normalizzate può anche contenere delle funzioni delle grandezze normalizzare $N1$, $N2$, NDC e DIR .

L'equazione di probabilità, come accennato è definita dalla funzione di densità di probabilità gaussiana d -dimensionale g , tale dimensione d essendo 2 relativamente alla matrice delle osservazioni x appena descritta, per ciascuna osservazione di dati, utilizzando la seguente equazione:

$$g(\mu_k, \Sigma_k) = \frac{1}{\sqrt[2]{2\pi} \sqrt{\det(\Sigma_k)}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (x-\mu_k)}$$

dove x indica l'osservazione istantanea derivata a un certo istante acquisendo il segnale di processo X_p , ossia la matrice sopra descritta, mentre μ indica un vettore delle medie e Σ la matrice di covarianza. Le grandezze

statistiche μ e Σ del generico modello addestrato θ rappresentano costanti dell'equazione di densità di probabilità gaussiana d-dimensionale, che è applicata separatamente a ciascuno dei diversi modelli θ_k , generando tante densità di probabilità quanti sono i modelli θ_k rispetto ai quali si deve valutare la probabilità di appartenenza dell'osservazione x acquisita a un certo istante.

Poiché la probabilità è massima nel caso in cui l'osservazione x appartenga ad una data classe o modello θ_k , quindi si provvede, in un passo di identificazione del difetto 330, a classificare ogni dato di densità di probabilità. In particolare, il passo 330 opera secondo il principio delle regole di decisione di Bayes:

$$X \in q_k \text{ if } P(q_k|X, \Theta) \geq P(q_j|X, \Theta), \quad \forall j \neq k$$

Tale formula generale indica che, partendo da un set di classi q_k (corrispondenti ai modelli θ_k) caratterizzato da un set conosciuto di parametri individuato come modello Θ , un'osservazione, definita in generale come X , appartiene ad una detta classe q_k se verifica la massima probabilità a posteriori. Ovvero un'osservazione X appartiene ad una data classe q_k se verifica che la probabilità di appartenere alla classe k -esima è maggiore alla probabilità di appartenere alla classe j -esima.

La legge di Bayes che utilizza la probabilità a posteriori è:

$$P(q_k|X, \Theta) = \frac{p(X|q_k, \Theta) P(q_k|\Theta)}{p(X|\Theta)}$$

Due vettori appartengono alla stessa classe se risultano essere equiprobabili. Ciò avviene se la probabilità $P(X|\Theta) = \text{costante}$. Ciò si verifica se:

$$\log P(q_k|X, \Theta) \propto \log p(X|q_k, \Theta) + \log P(q_k|\Theta)$$

La probabilità $P(q_k|X, \Theta)$ è proporzionale a $P(X|q_k, \Theta)$
 $P(q_k|\Theta)$:

$$\log P(q_k|X, \Theta) \propto \log p(X|q_k, \Theta) + \log P(q_k|\Theta)$$

Eseguendo le operazioni in logaritmo:

$$P(q_k|X, \Theta) \propto p(X|q_k, \Theta) P(q_k|\Theta), \quad \forall k$$

si opera quindi il calcolo di maximum likelihood
 logaritmica $\log P(q_k|X, \Theta)$.

Ciò permette, nel passo 330, di identificare il
 particolare stato del processo di lavorazione, identificato
 dai valori del segnale di processo X_p a un certo istante,
 rispetto ai modelli θ_k che rappresentano gli stati di
 difetto della lavorazione e di buona lavorazione, e quindi
 identificare se la qualità della lavorazione sia buona o
 cattiva; nel caso di difetto si identifica inoltre una
 causa del difetto D . Tale causa del difetto D è fornita a
 un modulo di regolazione dei parametri tecnologici 340 che
 controlla il modulo di controllo degli attuatori della
 macchina di lavorazione 400.

E' possibile quindi operare un controllo del processo
 di lavorazione e correzione di eventuali difetti tramite la
 regolazione dei parametri tecnologici della lavorazione, in
 particolare taglio o saldatura, laser in real time.

Identificato il particolare stato del processo di
 lavorazione e la causa D di un eventuale difettosità del
 processo 500, si passa alla correzione automatica dei
 parametri tecnologici di lavorazione tramite il modulo di
 regolazione dei parametri tecnologici 340, che emette
 istruzioni di correzione C . In presenza di una difettosità
 del processo, si procede con la correzione del parametro,
 ad esempio la pressione, o la potenza laser, o la focale, o

la velocità di degli assi, o lo standoff, che genera il cattivo processo di taglio/saldatura.

L'operazione di correzione avviene ad esempio per passi successivi e continua l'iterazione di tali passi per il numero di volte per cui viene recuperata la desiderata qualità del processo di lavorazione. In presenza dell'identificazione contemporanea di diverse cause di difetto D, si provvede a correggere prima il parametro tecnologico la cui influenza è maggiore e successivamente gli altri. Ciò equivale a dire che lo studio di probabilità sopra descritto, in particolare rispetto al passo di identificazione 330 con classificazione bayesiana, fornisce anche la priorità di intervento sulle correzioni tecnologiche da attuare. In tal caso, infatti, è previsto ad esempio di calcolare la probabilità per tutti i modelli. Viene attuata la correzione il cui corrispondente difetto è quello che fornisce la probabilità maggiore, ma, nel caso la correzione attuata sia la massima possibile, viene presa in considerazione la seconda probabilità più grande.

Preferibilmente, la correzione dei difetti avviene considerando un difetto per volta benché si presentino insieme più difetti. Quindi quando viene terminata la prima correzione si comincia con la seconda. In generale, si può considerare che non esista un unico set di parametri tecnologici per ottenere la qualità desiderata, ma ne esistono diversi, pertanto il procedimento opera preferibilmente per ottenere una qualità costantemente uguale a quella desiderata, piuttosto che un set di parametri prescelto.

A seconda della causa di difetto D identificata durante il processo di lavorazione viene inviata una parola, ad esempio di 16 bit, al modulo di regolazione dei parametri tecnologici 400, un modulo di controllo numerico della macchina di lavorazione, che provvede, ad esempio

tramite i corrispondenti attuatori per regolare parametri di processo del sistema di attuatori 550 a regolare i parametri tecnologici per migliorare la qualità di lavorazione. La regolazione dei parametri tecnologici del taglio laser, avviene ad esempio in modo che la qualità di taglio sia costantemente buona durante il processo. I parametri che vengono regolati durante il processo di taglio sono ad esempio:

- distanza focale;
- velocità di taglio;
- pressione di taglio;
- potenza del laser;
- standoff di taglio.

La regolazione dei parametri tecnologici attraverso il confronto di un segnale con modelli addestrati può prevedere non solo la correzione dei parametri del processo, ma anche la diagnostica del sistema ottico attraverso il quale il fascio laser è convogliato sul pezzo in lavorazione.

Ad esempio, nel caso in cui si voglia verificare se un guasto del sistema ottico influenzi il procedimento di identificazione dei difetti di lavorazione, può essere prevista nell'area dove viene eseguita la lavorazione, al di fuori dei percorsi di lavorazione, ma in un punto raggiungibile dallo strumento di lavorazione, una sorgente di radiazione, ad esempio un LED, adatto a emettere una radiazione verso il sensore ottico 540 nella testa di lavorazione 510. La sorgente, ad esempio la radiazione laser della macchina, viene spenta quando la testa 540 raggiunge la posizione del LED, sicché il sensore ottico 540 riceve una radiazione luminosa con caratteristiche note e, preferibilmente, simili a quelle di un processo di lavorazione, radiazione che non è tuttavia affetta da eventuali difetti introdotti dal sistema ottico, e permette

di operare una procedura 300 di analisi come quella descritta in figura 2, per un segnale che origina a valle del sistema ottico. In tali condizioni, se l'operazione riscontra egualmente uno stato di difetto, vi è un difetto nel sistema ottico. Più specificamente, è previsto di addestrare un rispettivo modello per riconoscere uno o più specifici difetti del sistema ottico.

Dunque, secondo un ulteriore aspetto dell'invenzione, la pluralità di modelli statistici θ_k identificativi di rispettivi stati del processo di lavorazione 500 comprende almeno un modello identificativo di uno stato del processo di lavorazione addestrato per riconoscere uno o più specifici difetti del sistema ottico della macchina di lavorazione, nel quale il segnale di processo X_p è determinato da una sorgente diversa da un laser di lavorazione della macchina di lavorazione, per diagnosticare il sistema ottico della macchina di lavorazione. Si apprezzerà che tale modello di riconoscimento della condizione può essere addestrato e impiegato autonomamente anche al di fuori del processo di monitoraggio di difetti della lavorazione, per una funzione di monitoraggio dei soli difetti del sistema ottico.

In figura 3 è mostrata l'elaborazione del segnale di riferimento X_r , cui è applicata l'operazione di estrazione di energie significative 200, applicando al passo 210 due filtri passa-banda nelle due bande B_1 e B_2 corrispondenti alle frequenze significative F_1 e F_2 , ottenendo il segnale di riferimento X_r in tali due bande B_1 e B_2 . Vengono calcolate quindi in un passo 120 le energie del riferimento E_{1r} e E_{2r} relative a tali bande B_1 e B_2 . Le energie del riferimento E_{1r} e E_{2r} rappresentano, come detto, soglie del segnale che vengono memorizzate in un database tecnologico di macchina 130. Viene anche acquisito un segnale di continua di riferimento DC_r dal segnale di

riferimento X_r , tramite il filtraggio operato nel blocco 215, e memorizzato nel database tecnologico di macchina 130. Come detto, tale operazione viene eseguita ad esempio una volta a inizio lavorazione e le soglie ricavate dal segnale di riferimento X_r vengono impiegate per il monitoraggio della qualità durante la lavorazione, senza ad esempio che tale monitoraggio debba essere presidiato.

In figura 4 è mostrato uno schema che illustra in dettaglio la fase di addestramento per la costruzione dei modelli statistici θ_k .

Tale operazione di costruzione di modelli statistici prevede di calcolare, in modalità off-line, i coefficienti di equazioni statistiche che identificano i modelli relativi alle diverse condizioni di lavorazione, taglio/saldatura, della macchina. L'addestramento dei modelli avviene attraverso una campagna test per la raccolta dati. Nella raccolta dati vengono collezionate delle acquisizioni relative ai diversi modi di lavorazione, cioè taglio/saldatura della macchina, ovvero, ad esempio, raccolte dati relative a:

- taglio/saldatura con risultato buono con diversi parametri, ad esempio di pressione, potenza, focale;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa della posizione focale alta;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa della posizione focale bassa;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una pressione di taglio/saldatura alta;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una pressione di taglio/saldatura bassa;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una velocità di taglio/saldatura alta

- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una velocità di taglio/saldatura bassa;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una potenza laser alta;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a causa di una potenza laser bassa;
- taglio/saldatura con risultato cattivo a seguito di una errata posizione di standoff durante il processo di taglio/saldatura.

Ciascuna di tali raccolte dati determina un rispettivo modello statistico θ_k , che individua un corrispondente stato k -esimo del processo di taglio/saldatura.

Se, ad esempio, le raccolte dati sono le 10 sopra esemplificate al termine dell'addestramento si ottengono 10 modelli statistici θ_k :

1. modello di taglio/saldatura buono
2. modello di taglio/saldatura cattivo - focale alta
3. modello di taglio/saldatura cattivo - focale bassa
4. modello di taglio/saldatura cattivo - pressione di taglio/saldatura alta
5. modello di taglio/saldatura cattivo - pressione di taglio/saldatura bassa
6. modello di taglio/saldatura cattivo - velocità di taglio/saldatura alta
7. modello di taglio/saldatura cattivo - velocità di taglio/saldatura bassa
8. modello di taglio/saldatura cattivo - potenza laser alta
9. modello di taglio/saldatura cattivo - potenza laser bassa

10. modello di taglio/saldatura cattivo - errata posizione di standoff durante il processo di taglio/saldatura.

Ciascuno di tali modelli addestrati θ_k , come si può vedere, contiene valori statistici, associati a una rispettiva causa di difetto D: focale alta, focale bassa, velocità di taglio/saldatura alta, velocità di taglio/saldatura bassa, pressione di taglio/saldatura bassa, pressione di taglio/saldatura alta, potenza laser alta, potenza laser bassa, errata posizione di standoff, oltre che taglio/saldatura buono ossia assenza di difetto o causa di difetto nessuna. E' chiaro che tale elenco non è esaustivo, ma dipende dalle cause di difetto D che si riescono a identificare e da come si riescono a classificare tali cause di difetto D. L'informazione sulla causa di difetto D può eventualmente non essere puramente qualitativa, o identificare il solo parametro di lavorazione su cui intervenire, ma può anche contenere valori o intervalli di parametri, ad esempio di pressione laser, velocità di taglio, potenza, associati alla causa di difetto ed eventualmente elaborabili.

I modelli addestrati θ_k sono costituiti, come già accennato in precedenza, dalle seguenti grandezze statistiche:

- a. Media μ_k
- b. Matrice di covarianza Σ_k
- c. Matrice di transizione Δ_k

La matrice di transizione Δ_k esprime la probabilità, essendo in un determinato stato, di transire in un altro stato. A titolo di esempio, nell'applicazione qui descritta, lo stato del processo di focale alta è dato da una determinata osservazione x a quattro valori diversi, i segnali normalizzati N1, N2, NDC e la direzione DIR. La formula di calcolo di probabilità gaussiana tiene conto

della media e della covarianza, però è previsto di legare tali quattro valori diversi tramite una relazione pesata a seconda del difetto. Tale relazione pesata corrisponde alla matrice di transizione Δ_k . In altre parole, così si ottiene anche la probabilità di transizione da un dato dell'osservazione x ad un altro dato della stessa osservazione. Se i quattro dati di un'osservazione x sono appartenenti ad un medesimo modello θ_k massimizzano anche la probabilità di transizione. In altre parole, durante la fase di addestramento in una certa raccolta dati un'osservazione con valori troppo bassi di probabilità di transizione può essere ragionevolmente scartata come dato spurio. La matrice di transizione, la media e la covarianza vengono fornite dalla procedura di addestramento off line, che viene eseguita tramite parte delle operazioni descritte qui nel seguito.

E' da notare che la costruzione di modelli statistici che prevede di calcolare, in modalità off-line, i coefficienti di equazioni statistiche che identificano i modelli relativi alle diverse condizioni di lavorazione, taglio/saldatura, della macchina, impiega gli stessi segnali normalizzati $N1$, $N2$ e NDC e il valore di direzione di lavorazione DIR , segnali che vengono acquisiti però durante i test della raccolta dati, impiegando poi una procedura di addestramento 350, comprendente i già descritti passi 310, 330 del processo di lavorazione per addestrare i modelli, ma sfruttando a questo scopo anche la procedura di Viterbi.

Il procedimento di addestramento 350 prevede infatti, per addestrare uno specifico modello θ_k , ad esempio focale alta, per un certo campione definito da certi parametri, ad esempio taglio su un materiale e uno spessore determinato, di operare una pluralità di lavorazioni, ad esempio eseguendo una stessa sagoma in ciascuna di queste

lavorazioni, affette da tale difetto di focale alta, acquisendone a istanti determinati i valori di segnali di processo X_p , che sono in questo caso dedicati all'addestramento. L'equazione del passo 310 viene impiegata per costruire, in particolare tramite passi successivi corrispondenti a ciascuna lavorazioni in detta pluralità di lavorazioni, una densità di probabilità delle rispettive osservazioni x , in particolare per ogni istante. In tale ambito a un passo 320 viene eseguita un'operazione di clustering gaussiano sulle osservazioni delle raccolta dati che vengono acquisite successivamente, seguendo una procedura di convergenza di massimizzazione di Viterbi, che produce una probabilità massima. Tale procedura di Viterbi, di per sé nota, provvede alla correzione dei parametri ottenuti al passo precedente, se la probabilità è diversa da quella ottenuta al passo precedente.

Dunque, il calcolo della densità di probabilità per la fase di addestramento 350 è un calcolo eseguito secondo la regola delle misture gaussiane al passo 310, la procedura di Viterbi massimizza la probabilità ed aggiorna delle prior probabilities, ossia dei valori iniziali di probabilità, mentre, nel successivo passo 330 di identificazione del difetto può essere adottata la classificazione secondo le leggi di Bayes come criterio di scelta probabilistica relativamente alla procedura di Viterbi. Per la fase di addestramento 350 può essere impiegata quindi la procedura di Viterbi-EM, che combina tali tre operazioni 310, 320, 330.

Il modello θ_k definito alla fine di una raccolta dati relativa a una certa causa D di difetto viene memorizzato nella memoria 140 per l'uso successivo nella fase di lavorazione. Naturalmente, la memoria 140 può venire utilizzato per memorizzare i valori intermedi mentre il modello θ_k viene costruito e addestrato.

Naturalmente, i particolari di costruzione e le forme di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, così come definita nelle rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di monitoraggio della qualità di processi di lavorazione laser (500), in particolare processi di taglio o saldatura laser, comprendente le operazioni di:

acquisire tramite mezzi sensori (540), in particolare sensori ottici, un segnale del processo (X_p) di lavorazione e calcolare da detto segnale rappresentativo del processo (X_p) parametri (E_1 , E_2 , DC) rappresentativi della qualità di lavorazione durante il processo di lavorazione laser,

rendere disponibili (130) corrispondenti parametri di riferimento (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) rappresentativi di una qualità di lavorazione determinata, calcolati da un segnale di riferimento del processo (X_r) acquisito tramite detti mezzi sensori (540),

caratterizzato dal fatto che comprende inoltre le operazioni di:

confrontare (230) detti parametri (E_1 , E_2 , DC) rappresentativi della qualità di lavorazione con detti parametri di riferimento (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) rappresentativi di una qualità di lavorazione determinata per ottenere un insieme di parametri del processo regolati (N_1 , N_2 , NDC),

rendere disponibile (140) una pluralità di modelli statistici (θ_k) identificativi di rispettivi stati del processo di lavorazione (500), detti stati comprendendo stati di difetto (D),

eseguire in tempo reale un'operazione di riconoscimento (300) dell'appartenenza di un insieme di osservazioni del processo (x ; N_1 , N_2 , NDC , DIR) acquisite in tempo reale comprendente detto insieme di parametri del processo regolati (N_1 , N_2 , NDC), a uno o più in detta pluralità di modelli statistici (θ_k) identificativi di stati del processo di lavorazione (500), detta operazione di riconoscimento (300) comprendendo di identificare (330) una o più cause di difetto

(D) in funzione degli stati riconosciuti di detta operazione di riconoscimento.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta operazione di riconoscimento (300) comprende di calcolare (310) dati di probabilità di appartenenza a uno stato di detto insieme di osservazioni del processo (x) e classificare (330) ogni dato di probabilità (P) secondo regole di decisione di Bayes per identificare detto stato e una relativa causa di difetto (D).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che comprende di calcolare (310) detti dati di probabilità secondo una regola di calcolo di misture gaussiane.

4. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta operazione di calcolare da detto segnale rappresentativo del processo (X_p) o segnale di riferimento (X_r) rispettivi parametri (E_1 , E_2 , DC ;) rappresentativi della qualità di lavorazione durante il processo di lavorazione laser e segnali di riferimento (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) rappresentativi di una qualità di lavorazione determinata, comprende di selezionare (210) da detto segnale di processo (X_p) e rispettivamente di riferimento (X_r), in particolare tramite filtraggio, rispettive bande di frequenza (B_1 , B_2) relative a specifiche frequenze (F_1 , F_2) del segnale di processo (X_p) o di riferimento (X_r) e di calcolare dei rispettivi valori di energia (E_1 , E_2 , E_{1r} , E_{2r}) per il segnale di processo (X_p) o riferimento (X_r) relativi a dette rispettive bande (B_1 , B_2).

5. Procedimento secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta operazione di confrontare (230) detti parametri (E_1 , E_2 , DC) rappresentativi della qualità di lavorazione con detti parametri di riferimento (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) rappresentativi di una qualità di lavorazione determinata per ottenere un insieme di parametri del processo

regolati ($N1$, $N2$, NDC) comprende di normalizzare detti valori di energia ($E1$, $E2$) delle bande ($B1$, $B2$) del segnale di processo (Xp) con i valori di energia ($E1r$, $E2r$) delle corrispondenti bande ($B1$, $B2$) del segnale di riferimento (Xr).

6. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto insieme di osservazioni del processo (x ; $N1$, $N2$, NDC , DIR) acquisite in tempo reale comprende un valore di componente continua normalizzato (NDC) del segnale di processo (Xp) e un valore di direzione di lavorazione (DIR).

7. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta operazione di rendere disponibile (140) una pluralità di modelli statistici (θ_k) identificativi di rispettivi stati del processo di lavorazione (500), detti stati comprendendo stati di difetto (D), comprende di eseguire preliminarmente una fase di costruzione e addestramento (350) di detti modelli statistici (θ_k) e di memorizzare (140) dati rappresentativi di detti modelli statistici (θ_k).

8. Procedimento secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che detta fase di costruzione di detti modelli statistici (θ_k) comprende un passo di raccolta dati che include raccogliere segnali di processo (Xp) relativi a cause di difetto (D) e calcolare corrispondenti insiemi di parametri statistici (μ_k , Σ_k , Δ_k), in particolare comprendenti una media (μ_k), una matrice di covarianza (Σ_k) e una matrice di transizione (Δ_k).

9. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta operazione di calcolare detti insiemi di parametri statistici (μ_k , Σ_k , Δ_k) comprende di adoperare una procedura di Viterbi (320) per massimizzare la probabilità e impiegare una classificazione

di Bayes come criterio di scelta probabilistica per costruire detto modello statistico (θ_k).

10. Procedimento secondo la rivendicazione 8 o 9, caratterizzato dal fatto che detta operazione di riconoscimento comprende di applicare una procedura di Viterbi-EM per calcolare detti insiemi di parametri statistici ($\mu_k, \Sigma_k, \Delta_k$).

11. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 7 a 10, caratterizzato dal fatto che detta pluralità di modelli statistici (θ_k) identificativi di rispettivi stati del processo di lavorazione (500) comprendono almeno un modello identificativo di uno stato del processo di lavorazione addestrato per riconoscere uno o più specifici difetti del sistema ottico della macchina di lavorazione, nel quale il segnale di processo (X_p) è determinato da una sorgente diversa da un laser di lavorazione della macchina di lavorazione, per diagnosticare detto sistema ottico della macchina di lavorazione.

12. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detto segnale di riferimento del processo (X_r) acquisito tramite detti mezzi sensori (540) è acquisito in una fase di lavorazione campione, in particolare di un pezzo campione, precedente all'acquisizione del segnale del processo (X_p).

13. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che comprende di operare una regolazione di parametri tecnologici (340) per operare una correzione automatica in tempo reale di uno o più di detti parametri tecnologici di lavorazione in funzione di una o più cause di difetto (D) identificate.

14. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta operazione di correzione comprende passi successivi di correzione di uno o più di detti parametri tecnologici

iterati fino a raggiungere la qualità del processo desiderata.

15. Procedimento secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che comprende di ricavare da detto passo di identificazione (330) con classificazione bayesiana priorità di intervento sulle correzioni da attuare.

16. Procedimento secondo la rivendicazione 13 o 14 o 15, caratterizzata dal fatto che detti parametri tecnologici comprendono uno o più fra:

- distanza focale;
- velocità di taglio o saldatura;
- pressione di taglio o saldatura;
- potenza del laser;
- standoff di taglio o saldatura.

17. Sistema di monitoraggio della qualità di processi di lavorazione laser, comprendente una macchina di lavorazione laser e uno o più moduli (540, 700, 400) per implementare le operazioni del procedimento secondo le rivendicazioni da 1 a 16.

18. Sistema secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che comprende un modulo sensore ottico (540) configurato per acquisire detti segnale rappresentativo del processo (X_p) e detto segnale di riferimento del processo (X_r) indicativo di una lavorazione con una qualità determinata.

19. Sistema secondo la rivendicazione 17 o 18, caratterizzato dal fatto che comprende un modulo di elaborazione (700) configurato per eseguire detta un'operazione di riconoscimento (310, 320) dell'appartenenza di un insieme di osservazioni del processo (x) comprendente detto insieme di segnali regolati (N_1 , N_2 , NDC) a uno o più di detti modelli statistici (θ_k) identificativi di stati del processo di lavorazione, detto modulo di elaborazione (700)

essendo configurato per memorizzare in un modulo di memoria (140) e leggere in detto modulo di memoria (140) detti modelli statistici (θ_k) identificativi di stati del processo di lavorazione.

20. Sistema secondo la rivendicazione 17 o 18 o 19, caratterizzato dal fatto che detto modulo di elaborazione (700) è configurato per comandare correzioni di detti parametri tecnologici a un modulo di controllo degli attuatori (400) di una macchina di lavorazione laser, in particolare di taglio o saldatura.

21. Prodotto informatico direttamente caricabile nella memoria di un elaboratore numerico e comprendete porzioni di codice software per attuare il procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 16 quando il prodotto è eseguito su un elaboratore.

Il tutto sostanzialmente come descritto ed illustrato e per gli scopi specificati.

CLAIMS

1. Process for monitoring the quality of laser manufacturing process (500), in particular laser cutting or laser welding, comprising the operations of:

acquiring through sensor means (540), in particular optical sensors, a manufacturing process signal (X_p) and calculating from said signal representative of the process (X_p) parameters (E_1 , E_2 , DC) representative of the manufacturing quality during the laser manufacturing process,

making available (130) corresponding reference parameters (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) representative of a determined manufacturing quality, calculated by a process reference signal (X_r) acquired through said sensor means (540),

characterized in that includes further the operations of:

comparing (230) said parameters (E_1 , E_2 , DC) representative of the manufacturing quality to said reference parameters (E_{1r} , E_{2r} , DC_r) representative of a determined manufacturing quality to obtain a set of regulated process parameters (N_1 , N_2 , NDC),

making available (140) a plurality of statistical models (θ_k) identifying respective states of the manufacturing process (500), said states comprising defect states (D),

performing in real time a operation of recognition (300) of membership of a set of observations of the process (x ; N_1 , N_2 , NDC , DIR) acquired in real time comprising said set of regulated process parameters (N_1 , N_2 , NDC) to one or more in said plurality of statistic models (θ_k) identifying states of the manufacturing process (500), said operation

of recognition (300) including identifying (330) one or more defect causes (D) as a function of the states recognized in said recognition operation.

2. Process according to claim 1, characterized in that said operation of recognition (300) includes calculating (310) data of probability of membership with respect to a state of said set of observations of the process (x) and classifying (330) each probability data (P) according to Bayes decision rules to identify said state and a corresponding defect cause (D).

3. Process according to claim 2, characterized in that includes calculating (310) said probability data according to a rule of Gaussian mixture calculation.

4. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said operation of calculating from said signal representative of the process (Xp) or reference signal (Xr) respective parameters (E1, E2, DC) representative of the manufacturing quality or reference parameters (E1r, E2r, DCr) representative of a determined manufacturing quality includes selecting from said process signal (Xp) and respectively reference signal (Xr), in particular through filtering, respective frequency bands (B1, B2) pertaining specific frequencies (F1, F2) of the process signal (Xp) or reference signal (Xr) and calculating respective energy values (E1, E2, E1r, E2r) for the process signal (Xp) or reference signal (Xr) pertaining said respective bands (B1, B2).

5. Process according to claim 4, characterized in that said operation of comparing (230) said parameters (E1, E2, DC) representative of the manufacturing quality with said reference parameters (E1r, E2r, DCr) representative of a

determined manufacturing quality to obtain a set of regulated process (N1, N2, NDC) includes normalizing said energy values (E1, E2) of the bands (B1, B2) of the process signal (Xp) by the energy values (E1r, E2r) of the corresponding bands (B1, B2) of the reference signal (Xr).

6. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said set of observations of the process (x; N1, N2, NDC, DIR) acquired in real time includes a normalized DC component value (NDC) of the process signal (Xp) and a manufacturing direction value (DIR).

7. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said operation of making available (140) a plurality of statistical models (θ_k) identifying respective manufacturing process states (500), said state including defect state (D), includes preliminarily performing a building and training phase (350) of said statistical models (θ_k) and storing (140) data representative of said statistical models (θ_k).

8. Process according to claim 7, characterized in that said phase of building said statistical models (θ_k) includes a step of data collection which includes collecting process signals (Xp) pertaining defect causes (D) and calculating corresponding sets of statistical parameters (μ_k , Σ_k , Δ_k), in particular comprising a mean (μ_k), a covariance matrix (Σ_k) and a transition matrix (Δ_k).

9. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said operation of calculating said sets of statistical parameters (μ_k , Σ_k , Δ_k) includes using a Viterbi procedure (320) to maximize the probability

and using a Bayes classification as probability selection criterion to build said statistical model (θ_k) .

10. Process according to claim 8 or claim 9, characterized in that said recognition operation includes applying a procedure of Viterbi-EM to compute said sets of statistical parameters $(\mu_k, \Sigma_k, \Delta_k)$.

11. Process according to one or more of claims from 7 to 10, characterized in that said plurality of statistical models (θ_k) identifying respective manufacturing process states (500) include at least a model identifying a manufacturing process state trained to recognize one or more defects specific of the optical system of the manufacturing machine, in which the process signal (X_p) is determined by a source different from a manufacturing laser of the manufacturing machine, to diagnose said optical system of the manufacturing machine.

12. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said process reference signal (X_r) acquired through said sensor means (540) is acquired in a reference manufacturing phase, in particular of a reference piece, preceding the acquisition of the process signal (X_p) .

13. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that includes operating the adjustment of technological parameters (340) to perform an automatic correction in real time of one or more of said manufacturing technological parameters as function of one or more identified defect causes.

14. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that said correction operation includes subsequent steps of correction of one or more of

said technological parameter till reaching the desired process quality.

15. Process according to one or more of the preceding claims, characterized in that includes obtaining from said identification step (330) with Bayesian classification intervention priorities for the corrections to perform.

16. Process according to claim 13 or 14 or 15, characterized in that said technological parameters include one or more among:

- focal distance;
- cutting or welding speed;
- cutting or welding pressure;
- laser power;
- cutting or welding standoff.

17. System for monitoring the quality of a laser manufacturing process, comprising a laser manufacturing machine and one or more modules (540, 700, 400) to implement the operation of the process according to one or more of claims from 1 to 16.

18. System according to claim 17, characterized in that includes an optical sensor means (540) configured to acquire said signal representative of the process (X_p) and process reference signal (X_r) representative of a determined manufacturing quality.

19. System according to claim 17 or 18, characterized in that includes a processing module (700) configured to perform a recognition operation (310, 320) of the membership to a set of process observations (x) including a set of regulated signals (N_1, N_2, NDC) to one or more of said statistical models (θ_k) identifying states of the manufacturing process, said processing module (700) being

configured to store in a memory module (140) and read in said memory module (140) said statistical models (θ_k) identifying states of the manufacturing process.

20. System according to claim 17 or 18, characterized in that said processing module (700) is configured to command correction of said technological parameters to an actuator control module (400) of a laser manufacturing process, in particular cutting or welding.

21. A computer program product directly loadable into the memory of a digital computer, comprising software code portions for performing the steps of any of claims 1 to 16 when said product is run on a computer.

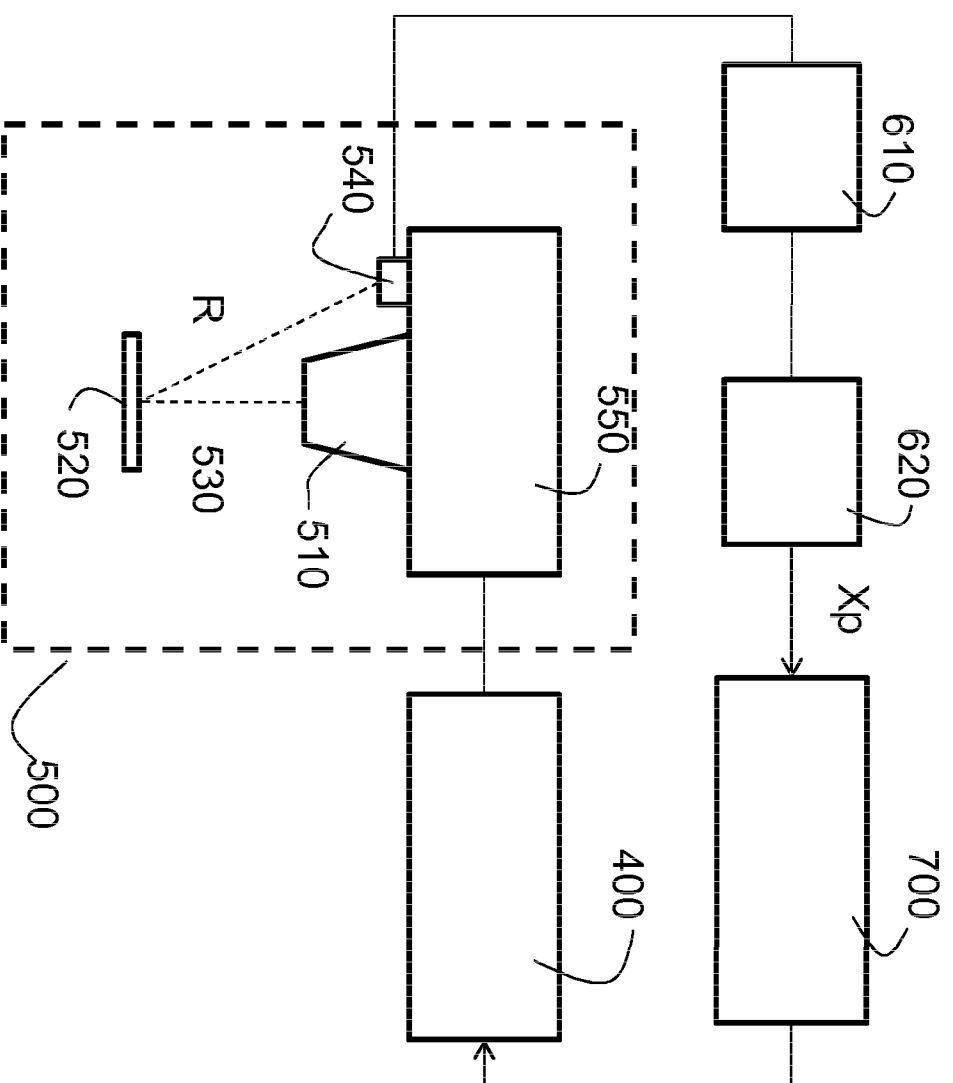


Figura 1

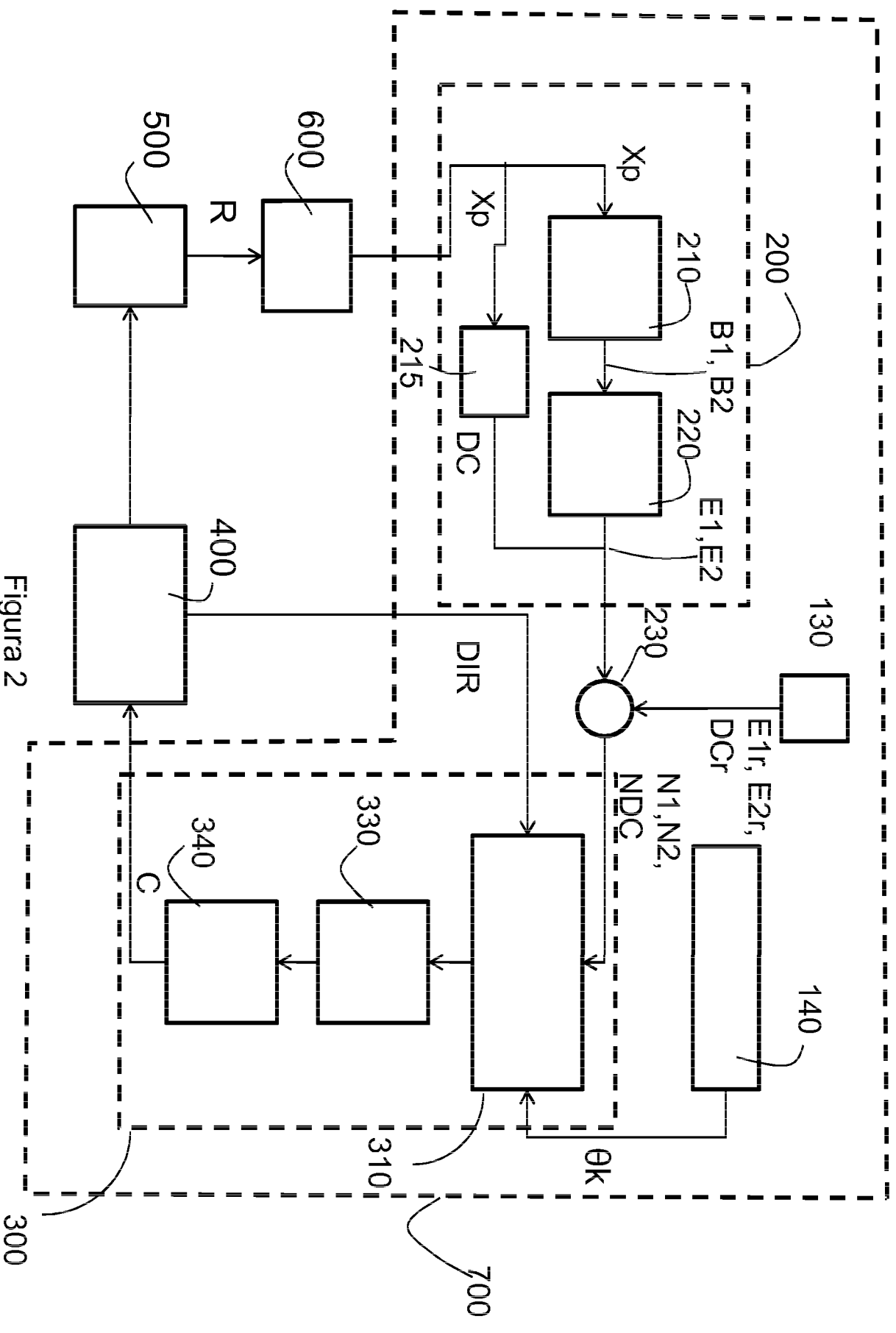


Figura 2

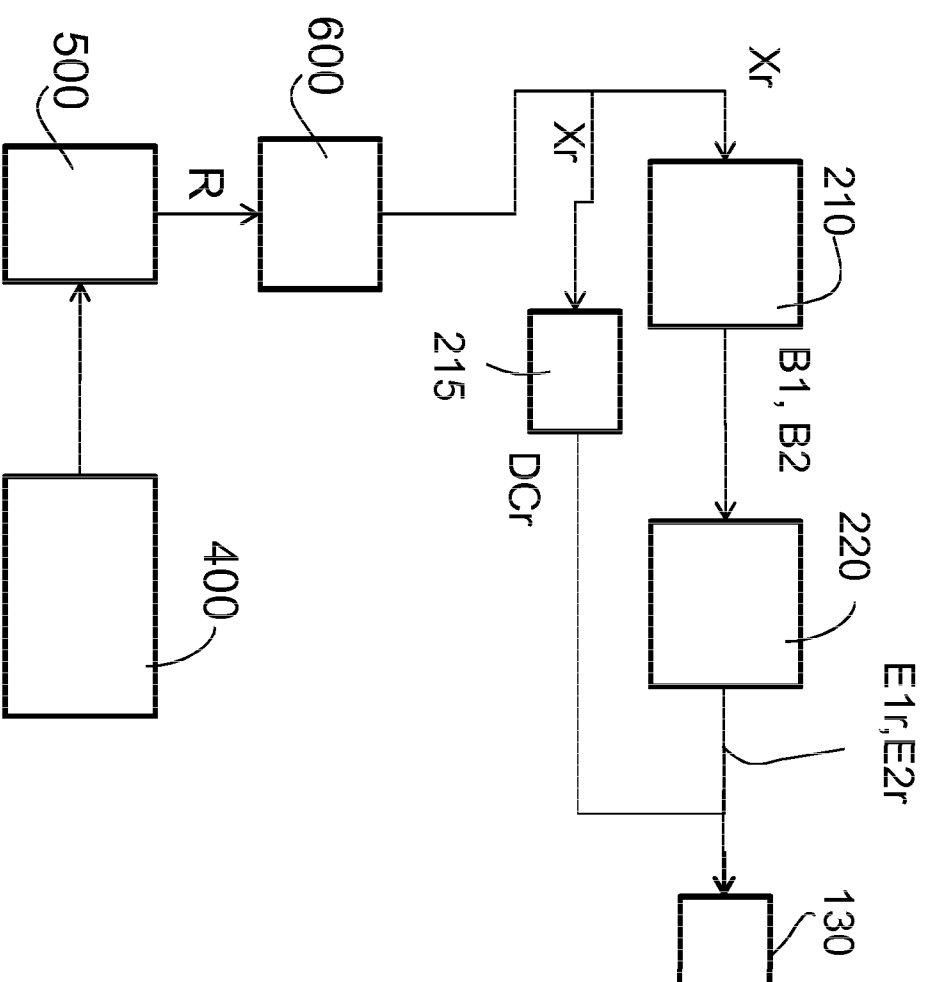


Figura 3

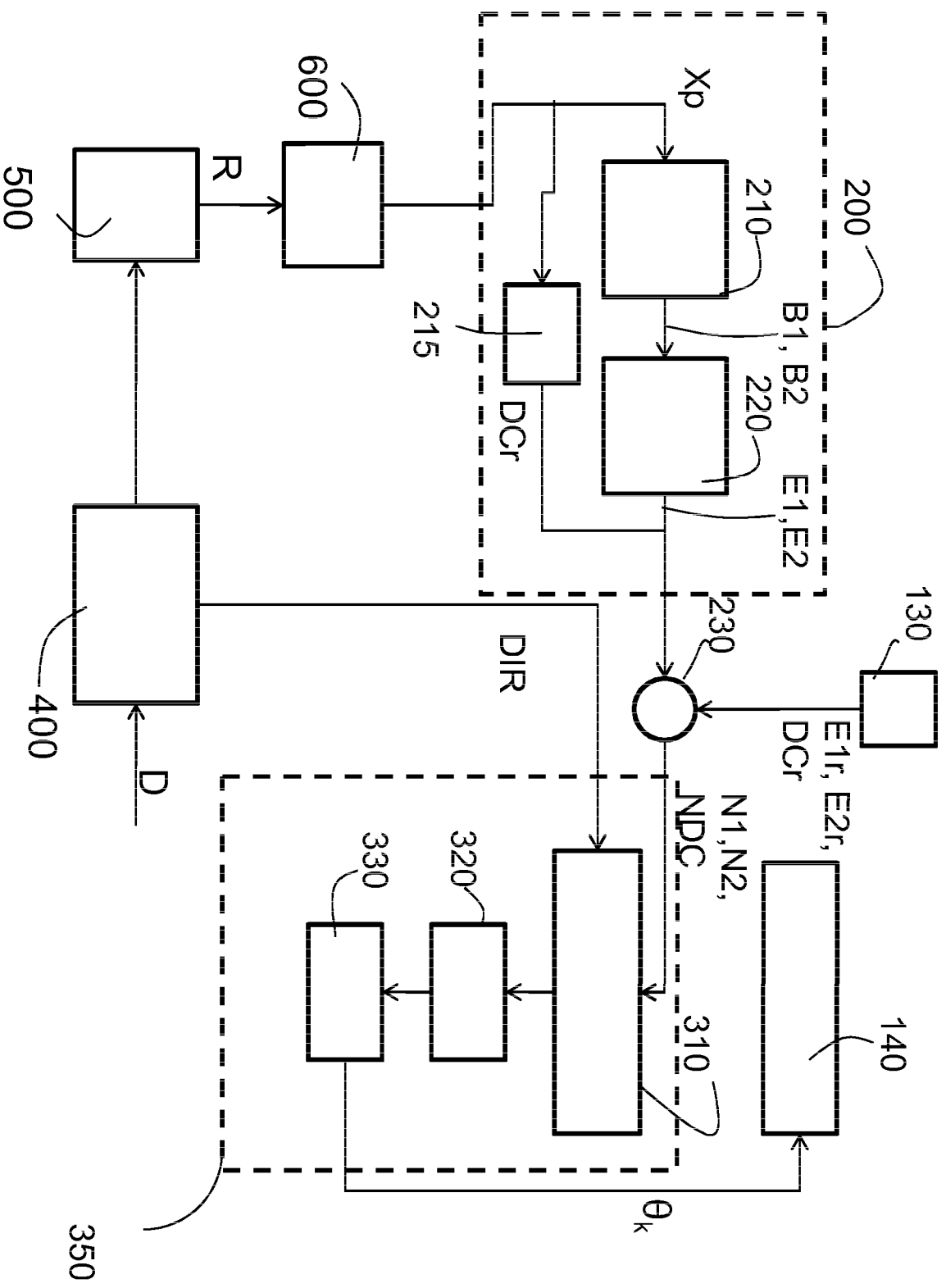


Figura 4