

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000025973
Data Deposito	11/10/2021
Data Pubblicazione	11/04/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	21	H	1	06

Titolo

METODO DI CONTROLLO DI UN LAMINATOIO RADIALE ASSIALE CON REGOLATORI A COEFFICIENTI VARIABILI

DESCRIZIONE

del Brevetto Italiano per Invenzione Industriale dal titolo:

“METODO DI CONTROLLO DI UN LAMINATOIO RADIALE ASSIALE CON REGOLATORI A COEFFICIENTI VARIABILI”

a nome **PROJECT GROUP SRL**

con sede in **42020 SAN POLO D'ENZA (RE)**.

* * * * *

Campo della tecnica

La presente invenzione riguarda un metodo di controllo di un laminatoio radiale-assiale del tipo di quelli che vengono utilizzati per la laminazione a caldo di anelli metallici, ad esempio d'acciaio o di altri metalli particolari, tra cui rame, alluminio, titanio o superleghe.

Stato della tecnica

La laminazione a caldo di anelli metallici è un processo versatile di lavorazione del metallo che permette di produrre anelli di dimensioni precise ed accurato grado di rotondità.

Il processo di laminazione a caldo parte da un semilavorato (o sbozzato) a forma di “ciambella” di metallo ad alta temperatura, ad esempio compresa tra 900°C e 1000°C nel caso degli acciai o anche molto minori, ad esempio compresa tra 250°C e 300°C nel caso del rame o dell'alluminio.

Questo semilavorato viene quindi laminato in senso radiale ed in senso assiale fino ad ottenere un anello delle dimensioni volute.

Il processo di laminazione viene eseguito da una macchina denominata laminatoio radiale-assiale, la quale è essenzialmente costituita da una pluralità di rulli

che sostengono e modellano l'anello in lavorazione.

In particolare, il laminatoio radiale-assiale comprende generalmente un rullo principale, atto a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna dell'anello in lavorazione, ed un rullo di contrasto, comunemente chiamato mandrino, atto a stare a contatto con la superficie perimetrale interna e a comprimere l'anello in senso radiale contro il rullo principale.

Il laminatoio radiale-assiale può inoltre comprendere una coppia di rulli di guida o di centraggio, i quali sono atti a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna dell'anello in lavorazione in punti reciprocamente simmetrici rispetto al piano di simmetria che contiene gli assi di rotazione del rullo principale e del mandrino.

Questi rulli di guida sono portati da rispettivi bracci di supporto, comunemente chiamati bracci centratrici, ciascuno dei quali è atto ad oscillare intorno ad un asse di oscillazione parallelo all'asse di rotazione del rullo principale ed è disposto simmetricamente all'asse di oscillazione dell'altro braccio di supporto rispetto al già citato piano di simmetria.

In questo modo, i rulli di guida possono spostarsi assecondando la variazione di diametro dell'anello in lavorazione, garantendo al contempo che detto anello mantenga la propria rotondità e rimanga in una posizione opportuna sul laminatoio.

Il laminatoio radiale-assiale comprende inoltre una coppia di rulli conici atti a stare rispettivamente a contatto delle opposte estremità assiali dell'anello in lavorazione, in modo da comprimerlo assialmente.

Questi rulli conici sono entrambi motorizzati e sono generalmente azionati ad una velocità di rotazione di riferimento tale per cui la velocità periferica dei medesimi

risulti uguale alla velocità periferica dell'anello in lavorazione in tutti i punti di reciproco contatto.

Questa condizione può essere efficacemente conseguita e mantenuta fintanto che i vertici (almeno quelli ideali) dei rulli conici sono perfettamente allineati con il centro dell'anello in lavorazione.

A mano a mano che il diametro dell'anello in lavorazione cresce, i rulli conici devono tuttavia essere progressivamente allontanati in senso radiale dal rullo principale, cosicché, oltre certi limiti, non è possibile mantenere i vertici dei rulli conici al centro dell'anello in lavorazione.

In queste condizioni, è possibile determinare una velocità di rotazione di riferimento per la quale la velocità periferica dei rulli conici è uguale a quella dell'anello in lavorazione in un solo punto di reciproco contatto, mentre in tutti gli altri punti si manifesterà una differenza tra le velocità periferiche.

Questa differenza di velocità periferica provoca uno "scorrimento di materiale" che tende a spostare l'anello di lavorazione da una parte o dall'altra, facendogli perdere la corretta centratura.

Per ovviare a questo inconveniente, è noto regolare la velocità di rotazione dei rulli conici aggiungendo alla velocità di rotazione di riferimento una opportuna correzione, la quale è generalmente ottenuta dalla somma di uno o più contributi correttivi.

Alcuni di questi contributi correttivi sono stabiliti automaticamente dal sistema elettronico del laminatoio attraverso dei regolatori in retroazione, i quali hanno lo scopo di equalizzare la forza di spinta esercitata dall'anello in lavorazione sui rulli guida, al fine di mantenere l'anello centrato sul laminatoio, nonché di equalizzare la coppia applicata ai rulli conici.

Questi regolatori in retroazione sono comunemente dei controllori proporzionali-integrativi (PI) o dei controllori proporzionali-integrativi-derivativi (PID), la cui risposta dinamica ad eventuali squilibri del sistema dipende da una serie di coefficienti numerici che vengono attribuiti alla parte proporzionale, alla parte integrativa ed eventualmente alla parte derivativa del controllore, tra cui ad esempio il guadagno proporzionale ed il tempo di integrazione.

Attualmente, i suddetti coefficienti vengono stabiliti durante la messa in servizio del laminatoio radiale-assiale, tarandoli in modo da ottimizzare il funzionamento della macchina in prefissate condizioni "nominali".

Senonché le condizioni "nominali" utilizzate in fase di taratura non possono gioco forza rappresentare tutte le condizioni in cui il laminatoio si trova ad operare al variare degli anelli in lavorazione e/o al variare delle caratteristiche di ciascun anello nelle diverse fasi della laminazione.

Può quindi accadere che, per certi tipi di anelli e/o durante certe fasi della laminazione, la risposta dinamica dei regolatori della velocità di rotazione dei rulli conici risulti inadeguata, ad esempio che comporti delle oscillazioni di velocità eccessivamente ampie e/o dei tempi di smorzamento di tali oscillazioni eccessivamente lunghi.

L'effetto che ne deriva può essere quello di una "crescita" non del tutto uniforme dell'anello in lavorazione (dove per crescita si intende l'aumento di diametro con conseguente riduzione di altezza e/o di spessore), il quale può quindi subire delle fluttuazioni e/o degli ondeggiamenti che, a loro volta, possono generare dei difetti di forma, ad esempio in termini di circolarità, planarità e/o cilindricità.

Esposizione dell'invenzione

Alla luce di quanto esposto, uno scopo della presente invenzione è quello di risolvere o quantomeno mitigare il menzionato inconveniente della tecnica nota, nell'ambito di una soluzione semplice, razionale e dal costo relativamente contenuto.

Questo ed altri scopi sono raggiunti grazie alle caratteristiche dell'invenzione riportate nelle rivendicazioni indipendenti. Le rivendicazioni dipendenti delineano aspetti preferiti e/o particolarmente vantaggiosi dell'invenzione ma non strettamente necessari per la sua implementazione.

In particolare, una forma di attuazione dell'invenzione rende disponibile un metodo di controllo di un laminatoio radiale-assiale per anelli,

in cui il laminatoio radiale-assiale comprende:

- un rullo principale atto a stare a contatto con una superficie perimetrale esterna dell'anello in lavorazione,
- un rullo di contrasto avente asse di rotazione complanare all'asse di rotazione del rullo principale e atto a stare a contatto con una superficie perimetrale interna dell'anello in lavorazione,
- una coppia di rulli di guida aventi assi di rotazione paralleli all'asse di rotazione del rullo principale ed atti a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna dell'anello in lavorazione, ed
- una coppia di rulli conici aventi assi di rotazione complanari su detto piano di simmetria, i quali sono rispettivamente atti a stare a contatto con le opposte estremità assiali dell'anello in lavorazione,

in cui il metodo di controllo prevede di regolare la velocità di rotazione di ciascun rullo conico mediante le fasi di:

- stabilire un valore di riferimento della velocità di rotazione del rullo conico,

- applicare (es. sommare) a detto valore di riferimento una correzione per ottenere un valore corretto della velocità di rotazione del rullo conico,
- azionare il rullo conico ad una velocità di rotazione avente il valore corretto, ed

in cui la correzione comprende - ovvero è ottenuta in funzione (es. dalla somma) di - un contributo in retroazione fornito da un controllore di tipo proporzionale-integrativo (PI) o proporzionale-integrativo-derivativo (PID).

Secondo l'invenzione, il metodo di controllo prevede di variare (ovvero di regolare) almeno i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa di detto controllore sulla base di almeno un parametro fisico dell'anello in lavorazione.

Ad esempio, il metodo di controllo può prevedere di acquisire (es. misurare, calcolare o ricevere come input in qualunque altro modo) il valore di detto almeno un parametro fisico e, successivamente, di utilizzare detto valore per determinare (es. calcolare, stabilire o ricavare in qualunque altro modo) i valori dei coefficienti che vengono forniti al controllore.

Grazie a questa soluzione è vantaggiosamente possibile configurare, per ciascun anello in lavorazione, dei regolatori della velocità di rotazione dei rulli conici aventi la risposta dinamica più adeguata per ottenere una "crescita" sostanzialmente uniforme dell'anello, riducendo in questo modo l'insorgenza di difetti di forma ed ottenendo ad esempio una migliore circolarità, planarità e/o cilindricità dell'anello finito.

Secondo un aspetto dell'invenzione, i coefficienti della parte proporzionale e dalla parte integrativa che vengono variati (o regolati) possono essere il guadagno proporzionale ed il tempo di integrazione.

Si tratta infatti dei coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa

che vengono più comunemente utilizzati nei controllori di tipo PI o PID.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, ciascuno dei suddetti coefficienti possa essere sostituito da un coefficiente equivalente, ovvero ottenuto in funzione dei primi due.

Ad esempio, in alcuni controllori di tipo PI o PID, il tempo di integrazione potrebbe essere sostituito dal guadagno integrativo che è pari al rapporto tra il guadagno proporzionale ed il tempo di integrazione.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, detto almeno un parametro fisico dell'anello in lavorazione (sulla base del quale vengono variati i coefficienti del controllore) può essere scelto nel gruppo costituito da: peso dell'anello in lavorazione, volume dell'anello in lavorazione, spessore dell'anello in lavorazione (detto anche "sezione" o "parete"), altezza dell'anello in lavorazione, diametro dell'anello in lavorazione.

Si desidera qui precisare che per "spessore" si intende la dimensione radiale della parete dell'anello, ovvero la dimensione misurata lungo una direzione ortogonale all'asse dell'anello stesso, mentre per "altezza" si intende la dimensione assiale di detta parete, ovvero la dimensione misurata lungo una direzione parallela all'asse dell'anello.

I parametri sopra menzionati sono quelli che hanno un maggiore impatto sul processo di laminazione, per cui variazioni di questi parametri richiedono generalmente una risposta dinamica diversa da parte dei regolatori di velocità dei rulli conici del laminatoio.

In particolare, il parametro avente di norma l'impatto più rilevante è il peso dell'anello in lavorazione (o equivalentemente il suo volume) che, nell'ambito della presente invenzione, rappresenta il parametro preferito sulla base del quale il

metodo di controllo potrà variare i coefficienti della parte proporzionale ed integrativa del controllore.

È comunque possibile, e talvolta preferibile, che il metodo di controllo vari i coefficienti della parte proporzionale ed integrativa del controllore sulla base di due o più dei parametri elencati in precedenza, ad esempio sulla base del peso (o del volume) e dello spessore e/o di uno o più dei restanti parametri.

Un altro aspetto dell'invenzione prevede che ciascuno dei coefficienti variabili del controllore (vale a dire almeno quelli della parte proporzionale e della parte integrativa) sia fornito da una matrice (o tabella) di correlazione in cui una pluralità di valori del coefficiente variabile sono memorizzati e singolarmente correlati ad un corrispondente valore di detto almeno un parametro fisico dell'anello in lavorazione.

Grazie a questa soluzione, il carico computazionale necessario per implementare il metodo di controllo può essere vantaggiosamente ridotto.

In questo contesto, la matrice di correlazione può essere determinata empiricamente.

Ad esempio, la matrice di correlazione può essere determinata (o costruita) eseguendo una molteplicità di prove empiriche, utilizzando ogni volta anelli con caratteristiche differenti e, durante ogni prova, andando a stabilire empiricamente quali coefficienti della parte proporzionale ed integrativa di ciascun controllore permettono di ottenere una regolazione stabile della correzione da applicare alla velocità di rotazione dei rulli conici (es. che non oscilli o che abbia oscillazioni che tendono a smorzarsi rapidamente) riducendo al massimo l'errore.

In particolare, le prove empiriche possono essere effettuate con anelli aventi peso (ovvero volume) differente e ripetute, per ogni anello, in diverse fasi della sua

"crescita" nel processo di laminazione (cui corrispondono generalmente sezione trasversale, diametro ed altezza differenti).

Mediante i coefficienti così determinati è quindi possibile popolare delle matrici (o tabelle) che, per ogni valore dei parametri fisici dell'anello (es. peso, volume, sezione, ecc.), associano un corrispondente valore dei coefficienti di ciascun controllore.

In alternativa, ciascuno dei coefficienti variabili del controllore può essere calcolato mediante una funzione matematica che mette in relazione uno o più dei suddetti parametri fisici dell'anello in lavorazione con il coefficiente variabile del controllore.

In questo modo, è generalmente possibile ottenere dei coefficienti del controllore che sono più precisi e puntualmente corrispondenti alle caratteristiche dell'anello in lavorazione.

Anche la funzione matematica può essere ottenuta empiricamente, ad esempio interpolando i valori dei coefficienti che vengono ottenuti con le prove empiriche delineate in precedenza.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la funzione matematica possa essere ottenuta su base teorica.

Secondo un preferito aspetto dell'invenzione, la variazione dei coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore è eseguita ripetutamente durante la laminazione dell'anello in lavorazione.

In altre parole è preferibile che, durante il processo di laminazione di un anello, i coefficienti di ciascun controllore varino con continuità a mano a mano che i parametri fisici del suddetto anello (es. sezione, diametro ed altezza) si modificano.

In questo modo si garantisce che la risposta dinamica dei controllori sia sempre

la più adeguata in qualunque momento durante la laminazione dell'anello in lavorazione.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, i coefficienti variabili di ciascun controllore possano essere variati (regolati) nell'ambito di una fase di settaggio preliminare che viene eseguita prima di iniziare la laminazione dell'anello e poi mantenuti costanti.

Questa soluzione potrebbe essere implementata ad esempio qualora i coefficienti variabili del controllore venissero variati solo sulla base del peso (o del volume) dell'anello in lavorazione, giacché questi parametri rimangono sostanzialmente costanti durante l'intero processo di laminazione.

Secondo un diverso aspetto dell'invenzione, il contributo in retrazione di almeno uno dei rulli conici (ad esempio di un primo di detti rulli conici) può essere ottenuto mediante le fasi di:

- misurare la forza applicata dall'anello in lavorazione su ciascun rullo di guida,
- calcolare una differenza tra le forze misurate,
- utilizzare detta differenza come input del controllore che fornisce in uscita detto contributo in retrazione.

Grazie a questa soluzione, il metodo di controllo tende automaticamente a regolare la velocità di rotazione dei rulli conici in modo da equalizzare le forze applicate dall'anello in lavorazione sui rulli di guida e, quindi, a mantenerlo centrato sul laminatoio.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, il contributo in retrazione di almeno uno dei rulli conici (ad esempio di un secondo di detti rulli conici) può essere ottenuto mediante le fasi di:

- misurare la coppia applicata a ciascun rullo conico,
- calcolare una differenza tra le coppie misurate,
- utilizzare detta differenza come input del controllore che fornisce in uscita detto contributo in retrazione.

Grazie a questa soluzione, il metodo di controllo tende automaticamente a regolare la velocità di rotazione dei rulli conici in modo da equalizzare la coppia applicata agli stessi, evitando in questo modo che l'anello in lavorazione possa svergolarsi o inclinarsi.

Un'altra forma di attuazione dell'invenzione rende disponibile un laminatoio radiale-assiale per anelli, comprendente:

- un rullo principale atto a stare a contatto con una superficie perimetrale esterna di un anello in lavorazione,
- un rullo di contrasto avente asse di rotazione complanare all'asse di rotazione del rullo principale e atto a stare a contatto con una superficie perimetrale interna dell'anello in lavorazione,
- una coppia di rulli di guida aventi assi di rotazione paralleli all'asse di rotazione del rullo principale ed atti a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna dell'anello in lavorazione,
- una coppia di rulli conici aventi assi di rotazione complanari su detto piano di simmetria, i quali sono rispettivamente atti a stare a contatto con le opposte estremità assiali dell'anello in lavorazione, ed
- un'unità di elaborazione elettronica configurata per eseguire il metodo di controllo delineato in precedenza.

L'invenzione rende infine disponibile anche un software comprendente un codice informatico che, quando eseguito da un elaboratore elettronico, consente all'ela-

boratore elettronico di eseguire il metodo di controllo sopra descritto.

Queste forme di attuazione dell'invenzione conseguono sostanzialmente gli stessi vantaggi menzionati in precedenza, in particolare quello di rendere la regolazione della velocità dei rulli conici più rapida ed efficace, riducendo l'insorgenza di difetti nell'anello in lavorazione.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno evidenti dalla lettura della descrizione seguente fornita a titolo esemplificativo e non limitativo, con l'ausilio delle figure illustrate nelle tavole allegate.

La figura 1 è una vista prospettiva dei componenti meccanici essenziali di un laminatoio radiale-assiale.

La figura 2 è una vista in pianta del laminatoio radiale-assiale di figura 1, con l'aggiunta dei bracci di supporto dei rulli di guida e dei relativi attuatori.

La figura 3 è uno schema a blocchi di un metodo di controllo del laminatoio radiale-assiale delle figure 1 e 2.

Descrizione dettagliata

Nelle figure 1 e 2 è schematicamente illustrato un laminatoio radiale-assiale 100 per la laminazione a caldo di anelli metallici, ad esempio d'acciaio o di altri metalli particolari, tra cui rame, alluminio, titanio o superleghe.

Il laminatoio 100 comprende anzitutto un rullo principale 105, avente preferibilmente forma cilindrica, il quale è atto a ruotare su sé stesso attorno al proprio asse centrale A.

Il rullo principale 105 può avere una forma cilindrica o eventualmente un profilo

sagomato per consentire la produzione di anelli con profili circolari, flangiati, sferici o variamente sagomati.

Preferibilmente, l'asse di rotazione A del rullo principale 105 è orientato verticalmente ma non si esclude che, in altre forme di attuazione, possa essere orientato orizzontalmente.

Il rullo principale 105 è preferibilmente motorizzato, ovvero è collegato ad almeno un motore atto a porlo in rotazione.

Il laminatoio 100 comprende inoltre un rullo di contrasto 110, usualmente chiamato mandrino o spina, il quale è atto a ruotare attorno al proprio asse centrale B.

Analogamente al rullo principale 105, anche il rullo di contrasto può presentare forma cilindrica (ad esempio di diametro inferiore rispetto al rullo principale 105) oppure un profilo sagomato per consentire la produzione di anelli con profili circolari, flangiati, sferici o variamente sagomati.

L'asse di rotazione B del rullo di contrasto 110 è complanare e sostanzialmente parallelo all'asse di rotazione A del rullo principale 105, in modo tale che i due rulli risultino reciprocamente affiancati.

Con il termine "sostanzialmente" si intende che l'asse di rotazione B del rullo di contrasto 110 può non solo essere perfettamente parallelo all'asse di rotazione A del rullo principale 105, ma anche inclinato di qualche grado rispetto a quest'ultimo (ad esempio tra 0° e 5° in entrambe le direzioni).

Spesso, tale inclinazione è regolabile e impostabile mediante opportuni attuatori, ad esempio elettrici o oleodinamici, che vengono gestiti dal sistema di controllo del laminatoio 100.

Il rullo di contrasto 110 è preferibilmente un rullo folle, ovvero è libero di ruotare attorno al proprio asse di rotazione B senza essere associato ad alcun motore di

azionamento.

Il rullo di contrasto 110 può essere associato ad organi attuatori (non illustrati) atti a farlo traslare in una direzione ortogonale e complanare ad entrambi gli assi di rotazione A e B, in modo tale da poter variare la distanza reciproca tra il rullo di contrasto 110 ed il rullo principale 105.

Il laminatoio 100 comprende inoltre una coppia di rulli di guida 115, aventi preferibilmente una forma cilindrica, ciascuno dei quali è atto a ruotare su sé stesso intorno al proprio asse centrale C che è parallelo all'asse di rotazione A del rullo principale 105.

Non si esclude tuttavia che, in alcuni casi particolari, anche i rulli di guida 115 possano essere sagomati.

I rulli di guida 115 hanno preferibilmente lo stesso diametro e sono disposti da parti opposte rispetto ad un piano di simmetria (ideale/immaginario) S in cui giacciono gli assi di rotazione A e B del rullo principale 105 e del rullo di contrasto 110 (v. fig.2).

Preferibilmente, i rulli di guida 115 sono rulli folli, ovvero sono atti a ruotare liberamente intorno al proprio asse di rotazione C senza essere collegati ad alcun motore di azionamento.

Ogni rullo di guida 115 è portato da (e girevolmente montato su) un rispettivo braccio di supporto oscillante 120, il quale è atto ad oscillare ruotando attorno ad un asse di oscillazione D che è parallelo e distanziato rispetto all'asse di rotazione C del rispettivo rullo di guida 115.

Gli assi di oscillazione D dei due bracci di supporto oscillanti 120 sono preferibilmente disposti in modo simmetrico rispetto al già citato piano di simmetria S, e la distanza che separa l'asse di oscillazione D dall'asse di rotazione C del rispettivo

ruzzo di guida 115 è preferibilmente uguale per entrambi i bracci di supporto oscillanti 120.

Ciascun braccio di supporto oscillante 120 può essere azionato ad oscillare intorno al proprio asse di oscillazione D da un rispettivo organo attuatore 125, ad esempio da un gruppo cilindro pistone idraulico attraverso un opportuno leverage.

Una funzione di questi organi attuatori 125 è quella di mantenere gli assi di rotazione C dei rulli di guida 115 in una posizione voluta/programmata.

In alcuni casi, questa posizione può essere quella (illustrata nelle figure) in cui gli assi di rotazione C dei rulli di guida 115 sono reciprocamente simmetrici rispetto al piano di simmetria S.

In altri casi, i bracci di supporto oscillanti 120 possono tuttavia essere comandati affinché la posizione degli assi di rotazione C dei rulli di guida 115 sia volutamente asimmetrica.

Il laminatoio 100 comprende inoltre una coppia di rulli conici, indicati rispettivamente con 130 e 135, ciascuno dei quali presenta un rispettivo asse di simmetria centrale E.

Per rullo conico si intende naturalmente anche un rullo troncoconico, ovvero qualunque rullo avente una superficie laterale assialsimmetrica le cui generatrici convergono tutte in un punto (vertice) dell'asse di simmetria centrale E.

Preferibilmente, gli assi di simmetria centrale E dei due rulli conici 130 e 135 giacciono complanari nel piano di simmetria S.

Inoltre, i vertici V dei due rulli conici 130 e 135, ovvero i vertici (anche ideali) delle rispettive superfici laterali coniche, sono preferibilmente allineati tra loro lungo un asse (ideale/immaginario) Q che è parallelo all'asse di rotazione A del rullo prin-

principale 105.

Questo asse Q è preferibilmente interposto tra i rulli conici 130 e 135 ed il rullo principale 105.

I due rulli conici 130 e 135 (ovvero le rispettive superfici coniche) sono infine affacciati ed orientati in modo che le generatrici reciprocamente più vicine, dell'uno e dell'altro rullo conico 130 e 135, risultino parallele tra loro e perpendicolari all'asse di rotazione A del rullo principale.

Ad esempio, i rulli conici 130 e 135 (ovvero le loro superfici laterali coniche) possono avere lo stesso angolo al vertice ed i loro assi di simmetria centrale E possono essere reciprocamente inclinati di un angolo pari all'angolo al vertice di ciascuno di essi.

Per angolo al vertice si intende generalmente l'angolo formato, in corrispondenza del vertice, da qualunque coppia di generatrici della superficie conica che giacciono complanari tra loro su un piano che contiene anche l'asse di simmetria centrale E.

Nell'esempio illustrato, in cui l'asse di rotazione A del rullo principale 105 è orientato in verticale, i rulli conici 130 e 135 sono sostanzialmente sovrapposti, con il rullo conico 130 che è disposto inferiormente al rullo conico 135.

Nelle forme di attuazione in cui l'asse di rotazione A del rullo principale 105 fosse orizzontale, i rulli conici 130 e 135 sarebbero orientati verticalmente e reciprocamente affiancati.

In ogni caso, ciascuno dei rulli conici 130 e 135 è atto a ruotare su sé stesso intorno al proprio asse centrale E.

In particolare, ciascun rullo conico 130 e 135 è preferibilmente motorizzato, ovvero collegato ad almeno un motore atto a porlo in rotazione.

I motori che azionano i due rulli conici 130 e 135 sono preferibilmente indipendenti l'uno dall'altro, in modo tale che la velocità di rotazione di tali rulli possa essere regolata in modo altrettanto indipendente.

I rulli conici 130 e 135 possono inoltre essere associati a primi organi di movimentazione (non illustrati) atti a muoverli uno rispetto all'altro in una direzione parallela all'asse di rotazione A del rullo principale 105.

Ad esempio, i primi organi di movimentazione possono muovere il rullo conico (superiore) 135 in avvicinamento/allontanamento dal rullo conico (inferiore) 130 che rimane fermo o viceversa, oppure a muoverli entrambi.

I rulli conici 130 e 135 possono infine essere associati a secondi organi di movimentazione (non illustrati) atti a muoverli entrambi (e contemporaneamente) in avvicinamento e allontanamento rispetto al rullo principale 105, lungo una direzione perpendicolare all'asse di rotazione A e giacente nel piano di simmetria S.

Il funzionamento del laminatoio 100 sopra descritto parte da un semilavorato 200 (o sbozzato) a forma di "ciambella" di metallo ad alta temperatura, ad esempio compresa tra 900°C e 1000°C nel caso degli acciai o anche molto minori, ad esempio compresa tra 250°C e 300°C nel caso del rame o dell'alluminio.

In particolare, questo semilavorato 200 può comprendere una parete anulare, di forma ad esempio cilindrica, la quale si sviluppa attorno ad un asse centrale e presenta una superficie perimetrale esterna 205, una superficie perimetrale interna 210 e due contrapposte estremità assiali 215 e 220.

Il semilavorato 200 viene collocato nel laminatoio 100, in modo tale che il suo asse risulti parallelo all'asse A del rullo principale 105 e che la sua parete anulare risulti interposta tra quest'ultimo ed il rullo di contrasto 110.

In particolare, il semilavorato 200 può essere disposto in modo che il rullo princi-

pale 105 sia posizionato all'esterno e che il rullo di contrasto 110 sia posizionato all'interno della parete anulare.

A questo punto, avvicinando il rullo di contrasto 110 al rullo principale 105, la parete anulare del semilavorato 200 viene presa in morsa tra questi due rulli, con il rullo principale 105 che rimane a contatto con la superficie perimetrale esterna 205 ed il rullo di contrasto 110 che rimane a contatto con la superficie perimetrale interna 210.

In questo modo, ponendo in rotazione il rullo principale 105 intorno all'asse di rotazione A viene impressa una rotazione anche al semilavorato 200 intorno al proprio asse.

Per stabilizzare questa rotazione, i rulli di guida 115 vengono portati anch'essi a contatto con la superficie perimetrale esterna 205 e, tramite l'oscillazione dei rispettivi bracci di supporto 120, vengono collocati in una posizione voluta/prefissata.

Come accennato in precedenza, questa posizione può essere scelta in modo che l'asse del semilavorato 200 risulti complanare agli assi di rotazione A e B del rullo principale 105 e del rullo di contrasto 110, ovvero risulti giacere sul piano di simmetria S.

In altre parole, la posizione assunta dai rulli di guida 115 può essere tale per cui i punti di contatto di questi ultimi con la superficie perimetrale esterna 205 del semilavorato 200 siano reciprocamente simmetrici rispetto al piano di simmetria S.

Alcune tecniche di laminazione possono tuttavia prevedere che, durante certe fasi della laminazione, la posizione dei rulli di guida 115 venga attivamente modificata al fine di "spostare" l'anello 200 in lavorazione rispetto la mezzzeria del laminatoio 100 (laminazione fuori centro), normalmente di pochi gradi, per poi "ripor-

tarlo al centro" a fine laminazione.

Contestualmente, i rulli conici 130 e 135 vengono disposti da parti assialmente opposte del semilavorato 200, preferibilmente in modo che l'asse Q, lungo cui sono allineati i vertici V delle rispettive superfici coniche, coincida con l'asse del semilavorato 200 stesso.

I rulli conici 130 e 135 vengono quindi avvicinati tra loro in direzione assiale, in modo che il rullo conico 130 stia a contatto con l'estremità assiale 215 del semilavorato 200 mentre il rullo conico 135 stia a contatto con l'estremità assiale 220 opposta.

Mentre il semilavorato 200 continua a ruotare intorno al proprio asse, il rullo di contrasto 110 viene progressivamente avvicinato al rullo principale 105 (in direzione perpendicolare all'asse di rotazione A), mentre i rulli conici 130 e 135 vengono progressivamente avvicinati tra loro (in direzione parallela all'asse di rotazione A).

In questo modo, la parete del semilavorato 200 subisce uno schiacciamento assiale ed uno schiacciamento radiale che ne provocano contestualmente anche un aumento di diametro, fino a raggiungere un anello di altezza, spessore e diametro desiderati.

A mano a mano che il diametro del semilavorato 200 aumenta, i rulli di guida 115 si divaricano progressivamente, continuando tuttavia (per effetto di un opportuno controllo degli organi attuatori 125) a svolgere la loro funzione di posizionamento; ad esempio a mantenere l'asse del semilavorato 200 sul piano di simmetria S del laminatoio 100, oppure a mantenere l'asse del semilavorato 200 in una voluta/programmata posizione "fuori centro".

A tal fine, i bracci di supporto 120 che portano i rulli di guida 115 possono essere

controllati in posizione pura, in posizione con limite di forza o più raramente in forza pura.

Contestualmente, poiché l'aumento di diametro comporta anche uno spostamento dell'asse del semilavorato 200 in allontanamento dal rullo principale 105, i rulli conici 130 e 135 vengono progressivamente spostati nella medesima direzione, in modo tale da mantenere i vertici V delle loro superfici coniche allineati lungo l'asse del semilavorato 200.

Fintanto che quest'ultima condizione può essere mantenuta, è possibile far ruotare ciascun rullo conico 130 e 135 intorno al rispettivo asse di rotazione E ad una velocità di riferimento tale per cui la velocità tangenziale di tale rullo conico 130 o 135 è uguale alla velocità tangenziale del semilavorato 200 in tutti i punti di reciproco contatto.

In particolare, questa velocità di riferimento, che dipende essenzialmente dalla geometria e dalla velocità di rotazione del semilavorato 200, può essere calcolata e imposta al rullo conico 130 attraverso un opportuno comando fornito al rispettivo motore.

In questo modo, non si produce nessuno scorrimento di materiale nel semilavorato 200.

Quando tuttavia il diametro del semilavorato 200 cresce oltre un certo valore, non è più possibile mantenere i vertici V dei rulli conici 130 e 135 perfettamente allineati con l'asse del semilavorato 200.

In questa condizione è possibile far ruotare ciascun rullo conico 130 e 135 intorno al rispettivo asse di rotazione E ad una velocità di riferimento tale per cui la velocità tangenziale di tale rullo conico 130 o 135 è uguale alla velocità tangenziale del semilavorato 200 in un solo punto di reciproco contatto, ad esempio in un

punto mediano tra la superficie perimetrale interna 210 e la superficie perimetrale esterna 205.

In tutti gli altri punti di reciproco contatto si manifesterà invece una differenza di velocità tangenziale, tra ciascuno rullo conico 130 e 135 ed il semilavorato 200, tale da poter causare uno scorrimento di materiale.

Questo scorrimento di materiale tende a spostare il semilavorato 200 da una parte o dall'altra, facendogli perdere il corretto posizionamento o provocando l'insorgenza di difetti.

Per ovviare a questo inconveniente si procede quindi a regolare la velocità di rotazione di ciascun rullo conico 130 e 135 in modo da cercare di equalizzare la forza di spinta esercitata dal semilavorato 200 sui due rulli guida 115 e di equalizzare la coppia applicata ai rulli conici 130 e 135.

A tal fine, la velocità di rotazione dei rulli conici 130 e 135 può essere regolata mediante il metodo di controllo illustrato in figura 3.

Questo metodo di controllo prevede innanzitutto di stabilire (blocco S100) il già citato valore di riferimento v della velocità di rotazione di ciascun rullo conico 130 e 135.

Tale valore v può essere ad esempio calcolato in funzione di uno o più parametri scelti nel gruppo costituito da: velocità di rotazione del rullo principale 105, diametro del rullo principale 105, geometria dei rulli conici 130 e 135, velocità di rotazione del semilavorato 200, posizione del semilavorato 200 tra i rulli conici 130 e 135.

In alternativa, il valore di riferimento v può essere recuperato da una matrice di correlazione che riceve in ingresso uno o più dei suddetti parametri e fornisce in uscita il corrispondente valore di riferimento v della velocità di rotazione dei rulli

conici 130 e 135.

A questo valore di riferimento v viene quindi applicata una correzione $d1$, in modo da ottenere un primo valore corretto v^* .

La correzione $d1$ è un valore numerico (di segno positivo o negativo a seconda dei casi) che viene preferibilmente sommato al valore di riferimento v della velocità di rotazione.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la correzione $d1$ possa essere un fattore moltiplicativo o di altro tipo.

In ogni caso, la correzione $d1$ dipende a sua volta da almeno un primo contributo in retrazione $r1$ ed eventualmente anche da almeno un primo contributo manuale $m1$.

Anche questi contributi $r1$ ed $m1$ sono valori numerici (di segno positivo o negativo a seconda dei casi) che vengono preferibilmente sommati tra loro per ottenere la correzione $d1$.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la correzione $d1$ possa essere calcolata, sempre in funzione dei contributi $r1$ ed $m1$, ma utilizzando una relazione matematica differente.

A prescindere da queste considerazioni, il contributo in retrazione $r1$ può essere quello che assolve la funzione di equalizzare la forza di spinta esercitata dal semilavorato 200 sui due rulli guida 115.

A tal fine, il contributo in retrazione $r1$ può essere ottenuto misurando anzitutto la forza di spinta $f1$ che viene esercitata dal semilavorato 200 su un rullo di guida 115 (blocco S105) e la forza di spinta $f2$ che viene esercitata dal medesimo semilavorato 200 sull'altro rullo di guida 115 (blocco S110).

Queste due forze di spinta $f1$ ed $f2$ possono essere misurate mediante opportuni

sensori di forza (o coppia) installati ad esempio sui bracci di supporto oscillanti 120 e/o nei rispettivi organi attuatori 125.

Le forze di spinta f_1 ed f_2 possono essere poi sottratte l'una dall'altra (blocco S115) in modo da calcolare una differenza e_1 (o errore).

Questa differenza e_1 può quindi essere fornita come input ad un controllore S120, nello specifico un controllore di tipo proporzionale-integrativo (PI) o proporzionale-integrativo-derivativo (PID), il quale restituisce in uscita il valore del contributo in retrazione r_1 .

Ad esempio, nel caso di un PID, il valore del contributo in retrazione r_1 può essere espresso dalla seguente relazione nel dominio del tempo t :

$$r_1(t) = K_p e_1(t) + K_i \int_{t_0}^t e_1(\tau) d\tau + K_d \frac{de_1(t)}{dt}$$

dove e_1 è la differenza calcolata tra le forze di spinta f_1 ed f_2 , K_p è un coefficiente che prende il nome di guadagno proporzionale, K_i è un coefficiente che prende il nome di guadagno integrativo, e K_d è un coefficiente che prende il nome di guadagno derivativo.

Il termine

$$K_p e_1(t)$$

rappresenta la parte proporzionale del controllore S120; mentre il termine

$$K_i \int_{t_0}^t e_1(\tau) d\tau$$

rappresenta la parte integrativa; ed il termine

$$K_d \frac{de_1(t)}{dt}$$

rappresenta la parte derivativa.

In modo del tutto equivalente, il valore del contributo in retrazione r_1 fornito in uscita dal controllore S120 può essere espresso dalla seguente relazione nel dominio del tempo t :

$$r_1(t) = K_p \left(e_1(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e_1(\tau) d\tau + T_d \frac{de_1(t)}{dt} \right)$$

dove $T_i (=K_p/K_i)$ è un coefficiente che prende il nome di tempo di integrazione mentre $T_d (=K_d/K_p)$ è un coefficiente che prende il nome di tempo di derivazione.

In questo caso, la parte proporzionale del controllore è rappresentata dal termine

$$K_p e_1(t)$$

mentre la parte integrativa è rappresentata dal termine

$$K_p \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e_1(\tau) d\tau$$

e la parte derivativa è rappresentata dal termine

$$K_p T_d \frac{de_1(t)}{dt}$$

Qualora il controllore S120 fosse un controllore PI, il valore del contributo in retrazione r_1 sarà espresso dalle medesime relazioni esposte in precedenza con l'esclusione della parte derivativa, ovvero considerando un guadagno derivativo K_d (o un tempo di derivazione T_d) uguale a zero.

Il contributo manuale m_1 viene invece scelto e regolato a piacere da un operatore che supervisiona il funzionamento del laminatoio 100 (blocco S125), ad esempio attraverso l'azionamento manuale di un volantino o di un qualunque altro organo di comando o d'interfaccia con la macchina.

Il primo valore corretto v^* ottenuto in questo modo viene utilizzato per comandare la velocità di rotazione dei rulli conici 135 e 130.

In particolare, il primo valore corretto v^* può essere direttamente trasmesso ad un driver S130 che comanda il motore del rullo conico 135, in modo tale che quest'ultimo venga comandato a ruotare ad una velocità esattamente corrispondente al primo valore corretto v^* .

Contestualmente, il primo valore corretto v^* può essere utilizzato per comandare anche il rullo conico 130, preferibilmente dopo essere stato ulteriormente corretto mediante una seconda correzione $d2$.

In questo contesto, il primo valore corretto v^* può essere considerato come un nuovo valore di riferimento per controllare la velocità di rotazione del rullo conico 130.

Anche in questo caso, la correzione $d2$ è un valore numerico (di segno positivo o negativo a seconda dei casi) che viene sommato al primo valore corretto v^* della velocità di rotazione.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la correzione $d2$ possa essere un fattore moltiplicativo o di altro tipo.

Anche la correzione $d2$ può dipendere a sua volta da almeno un secondo contributo in retrazione $r2$ e da almeno un secondo contributo manuale $m2$.

Questi contributi $r2$ ed $m2$ sono valori numerici (di segno positivo o negativo a seconda dei casi) che vengono preferibilmente sommati tra loro per ottenere la correzione $d2$.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la correzione $d2$ possa essere calcolata, sempre in funzione dei contributi $r2$ ed $m2$, ma utilizzando una relazione matematica differente.

Il contributo in retrazione $r2$ può essere quello che svolge la funzione di equalizzare la coppia applicata ai rulli conici 130 e 135.

A tal fine, il contributo in retrazione r_2 può essere ottenuto misurando anzitutto la coppia t_1 che viene applicata al rullo conico 130 (blocco S135) e la coppia t_2 che viene applicata sull'altro rullo conico 135 (blocco S140).

Queste coppie t_1 e t_2 possono essere misurate mediante opportuni sensori di coppia associati ai motori che azionano i rulli conici 130 e 135.

Le coppie t_1 e t_2 possono essere poi sottratte l'una dall'altra (blocco S145) in modo da calcolare una differenza e_2 (o errore).

Questa differenza e_2 può quindi essere fornita come input ad un controllore S150, nello specifico ad un controllore di tipo proporzionale-integrativo PI o proporzionale-integrativo-derivativo PID, il quale restituisce in uscita il valore del secondo contributo in retrazione r_2 .

Ad esempio, nel caso di un PID, il valore del contributo in retrazione r_2 può essere espresso dalla seguente relazione nel dominio del tempo t :

$$r_2(t) = K_p e_2(t) + K_i \int_{t_0}^t e_2(\tau) d\tau + K_d \frac{de_2(t)}{dt}$$

dove e_2 è la differenza calcolata tra le forze di spinta, K_p è il guadagno proporzionale, K_i è il guadagno integrativo, e K_d è il guadagno derivativo; o equivalentemente dalla seguente relazione:

$$r_1(t) = K_p \left(e_1(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e_1(\tau) d\tau + T_d \frac{de_1(t)}{dt} \right)$$

dove $T_i (=K_p/K_i)$ è il tempo di integrazione mentre $T_d (=K_d/K_p)$ è il tempo di derivazione.

Qualora il controllore S150 fosse un controllore PI, il valore del contributo in retrazione r_2 sarà espresso dalle medesime relazioni con l'esclusione della parte derivativa, ovvero considerando un guadagno derivativo K_d (o un tempo di derivazione T_d) uguale a zero.

Naturalmente, la parte proporzionale, la parte integrativa e la parte derivativa del controllore S150 sono le stesse che sono state precedentemente descritte con riferimento al controllore S120, mentre i coefficienti K_p , K_i , K_d , T_i e/o T_d del controllore S150 possono essere differenti rispetto ai medesimi coefficienti del controllore S120.

Il contributo manuale m_2 viene invece scelto e regolato a piacere da un operatore che supervisiona il funzionamento del laminatoio 100 (blocco S155), ad esempio attraverso l'azionamento manuale di un volantino o di un qualunque altro organo di comando o d'interfaccia con la macchina.

La correzione del primo valore corretto v^* con la correzione d_2 fornisce un secondo valore corretto v^{**} della velocità di rotazione, il quale può essere direttamente trasmesso ad un driver S160 che comanda il motore del rullo conico 130, in modo tale che quest'ultimo venga comandato a ruotare ad una velocità esattamente corrispondente al secondo valore corretto v^{**} .

Nell'ambito di questo metodo di controllo è previsto che almeno i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S120 possano variare (blocco S200) sulla base di uno o più parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione.

Ad esempio, il metodo di controllo può prevedere di acquisire (es. misurare, calcolare o ricevere come input in qualunque altro modo) il valore di uno o più parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione e, successivamente, di utilizzare detto/i valore/i per determinare (es. calcolare, stabilire o ricavare in qualunque altro modo) i valori dei coefficienti del controllore della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S120.

Nel caso di specie, come parametri fisici della parte proporzionale e della parte

integrativa del controllore S120 vengono considerati il guadagno proporzionale K_p ed il tempo di integrazione T_i .

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, il tempo di integrazione T_i possa essere sostituito dal guadagno integrativo K_i .

Non si esclude nemmeno che alcune forme di attuazione possano prevedere di variare, sulla base dei summenzionati parametri fisici dell'anello 200, anche i/coefficienti/e della parte derivativa, ad esempio il guadagno derivativo K_d o equivalentemente il tempo di derivazione T_d .

I parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione possono essere scelti nel gruppo costituito da: peso dell'anello 200 in lavorazione, volume dell'anello 200 in lavorazione, spessore della parete anulare dell'anello 200 in lavorazione (chiamato anche "sezione" o "parete"), altezza dell'anello 200 in lavorazione ed infine diametro (es. diametro esterno o interno) dell'anello 200 in lavorazione.

Si desidera qui precisare che lo spessore dell'anello 200, indicato con P in figura 2, è da intendersi come la dimensione della parete dell'anello misurata lungo una direzione radiale, ovvero lungo una direzione ortogonale e incidente con l'asse dell'anello 200.

In altre parole, lo spessore può essere considerato come la metà della differenza tra il diametro esterno ed il diametro interno dell'anello 200.

L'altezza dell'anello 200, indicata con H in figura 1, è invece da intendersi come la dimensione della parete dell'anello misurata lungo una direzione parallela all'asse dell'anello 200.

Ciò detto, è preferibile che i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S120 (ed eventualmente anche quelli della parte derivativa) possano essere variati almeno sulla base del peso dell'anello 200 in lavora-

zione (o equivalentemente del suo volume), ed eventualmente sulla base di almeno un parametro aggiuntivo scelto tra quelli che si modificano durante la laminazione dell'anello 200, come ad esempio lo spessore o l'altezza.

Alcuni di questi parametri possono essere misurati direttamente (come ad esempio il diametro dell'anello), mentre altri possono essere ricavati a partire dalla posizione (quota) e dalle dimensioni dei rulli in contatto con il pezzo (come ad esempio lo spessore e l'altezza), altri ancora possono essere calcolati a partire dai parametri misurati o noti a priori dai dati impostati (volume/peso).

Ad esempio, il volume dell'anello 200 in lavorazione può essere noto a priori sulla base delle dimensioni dello sbozzato iniziale.

Il peso dell'anello 200 in lavorazione può essere calcolato in funzione del volume e della densità del materiale.

Il diametro dell'anello 200 in lavorazione può essere misurato con qualunque sensore adatto allo scopo.

Per la precisione, il diametro dell'anello 200 viene preferibilmente misurato tramite un misuratore laser (di solito del tipo a triangolazione) o tramite un tastatore meccanico realizzato attraverso una rotellina folle mantenuta in spinta sulla superficie perimetrale esterna 205 dell'anello 200 da un cilindro ad aria che “funge da molla” e connesso ad un sistema di misura lineare (riga ottica o trasduttore di altro tipo).

Tali dispositivi possono essere situati tra i due rulli conici 130 e 135 (nel caso di tastatore meccanico) o in posizione arretrata rispetto ad essi (nel caso del misuratore laser), in modo tale che la misura lineare effettuata avvenga sempre sulla linea di mezzzeria del laminatoio 100, ovvero lungo una direzione giacente nel piano di simmetria S.

L'altezza dell'anello 200 in lavorazione può essere calcolata sulla base di una misura della posizione relativa dei rulli conici 130 e 135 e dello loro dimensioni.

Ad esempio, considerando il caso esemplificativo in cui il rullo conico 130 rimanga fermo ed il laminatoio 100 sia dotato di un attuatore atto a modificare la posizione del rullo conico 135 lungo un "asse" verticale, l'altezza dell'anello 200 corrisponderà di fatto alla quota del rullo conico 135 lungo detto "asse" (a meno delle sue dimensioni), la quale può essere misurata da un sistema di misura molto preciso (es. riga ottica o trasduttore tempsonico) che è già presente sul laminatoio 100 e che è principalmente utilizzato per il controllo degli spostamenti del rullo conico 135 lungo quell'asse.

Lo spessore dell'anello 200 in lavorazione può essere calcolata sulla base di una misura della posizione relativa tra il rullo principale 105 ed il rullo di contrasto 110 e delle loro dimensioni.

Ad esempio, considerando il caso esemplificativo in cui il rullo principale 105 rimanga fermo ed il laminatoio 100 sia dotato di un attuatore atto a modificare la posizione del rullo di contrasto 110 lungo un "asse" orizzontale, lo spessore dell'anello 200 corrisponderà di fatto al posizione del rullo di contrasto 110 lungo detto "asse" (a meno delle sue dimensioni), la quale può essere misurata da un sistema di misura molto preciso (es. riga ottica o trasduttore tempsonico) che è già presente sul laminatoio 100 e che è principalmente utilizzato per il controllo degli spostamenti del rullo di contrasto 110 lungo quell'asse.

A prescindere da queste considerazioni, ciascuno dei coefficienti variabili K_p e T_i del controllore S120 può essere acquisito da una matrice (o tabella) di correlazione in cui una pluralità di valori di tale coefficiente sono memorizzati e singolarmente correlati ad un corrispondente valore di almeno uno dei suddetti para-

metri fisici dell'anello 200 in lavorazione, o a corrispondenti valori di una ennupla di detti parametri fisici.

In questo modo, fornendo in input i valori del/dei parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione, il metodo di controllo può recuperare dalla matrice di correlazione i corrispondenti valori dei coefficienti K_p e T_i del controllore S120.

La matrice di correlazione può essere determinata empiricamente durante una fase preliminare di configurazione del metodo di controllo.

Ad esempio, la matrice di correlazione può essere determinata (o costruita) eseguendo una molteplicità di prove empiriche, utilizzando ogni volta anelli con caratteristiche differenti e, durante ogni prova, andando a stabilire empiricamente quali coefficienti K_p e T_i della parte proporzionale ed integrativa del controllore S120 permettono di ottenere una regolazione stabile della correzione da applicare alla velocità di rotazione dei rulli conici 130 e 135 (es. che non oscilli o che abbia oscillazioni che tendono a smorzarsi rapidamente) riducendo al massimo l'errore e, di conseguenza, portando ad una crescita uniforme e regolare dell'anello (priva di fluttuazioni e ondeggiamenti) senza originare rilevanti difetti di forma, come ad esempio difetti di circolarità, planarità e cilindricità.

In particolare, le prove empiriche possono essere effettuate con anelli aventi peso (ovvero volume) differente e ripetute, per ogni anello, in diverse fasi della sua "crescita" nel processo di laminazione (cui corrispondono generalmente sezione trasversale, diametro ed altezza differenti).

Mediante i coefficienti così determinati è quindi possibile popolare una o più matrici (o tabelle) che, per ogni valore dei parametri fisici dell'anello (es. peso, volume, sezione, ecc.), associano un corrispondente valore dei coefficienti K_p e T_i del controllore S120.

In alternativa, ciascuno dei coefficienti variabili K_p e T_i del controllore S120 può essere calcolato mediante una funzione matematica che mette in relazione il/i parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione con il coefficiente variabile del controllore S120.

In questo modo, il metodo di controllo può calcolare di volta in volta i valori dei coefficienti K_p e T_i del controllore 120 in funzione dei valori del/dei parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione,

Anche la funzione matematica può essere ottenuta empiricamente, ad esempio interpolando i valori dei coefficienti K_p e T_i che vengono ottenuti con le prove empiriche delineate in precedenza.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la funzione matematica possa essere ottenuta su base teorica.

Si desidera qui evidenziare che la variazione dei coefficienti K_p e T_i del controllore S120 è preferibilmente eseguita ripetutamente ed in continuo durante la laminazione dell'anello 200 in lavorazione.

In altre parole è preferibile che, durante il processo di laminazione dell'anello 200, i coefficienti K_p e T_i del controllore S120 varino con continuità a mano a mano che i parametri fisici del suddetto anello 200 (es. sezione, diametro ed altezza) si modificano.

In questo modo, si garantisce che la risposta dinamica del controllore S120 sia sempre la più adeguata in qualunque momento durante la laminazione dell'anello 200 in lavorazione.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, i coefficienti K_p e T_i del controllore S120 possano essere variati (regolati) nell'ambito di una fase di settaggio preliminare che viene eseguita prima di iniziare la laminazione dell'anello

200 e poi mantenuti costanti.

Questa soluzione potrebbe essere implementata qualora i coefficienti K_p e T_i del controllore S120 venissero variati solo sulla base del peso (o del volume) dell'anello 200 in lavorazione, giacché questi parametri rimangono sostanzialmente costanti durante l'intero processo di laminazione.

Tutte le considerazioni precedenti valgono naturalmente anche per i coefficienti K_d o T_d della parte derivativa del controllore S120, qualora fosse prevista la loro variazione.

In modo del tutto analogo a quanto poc'anzi descritto, il metodo di controllo del laminatoio 100 prevede che anche (almeno) i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S105 possano variare (blocco S205) sulla base di uno o più parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione.

Ad esempio, il metodo di controllo può prevedere di acquisire (es. misurare, calcolare o ricevere come input in qualunque altro modo) il valore di uno o più parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione e, successivamente, di utilizzare detto/i valore/i per determinare (es. calcolare, stabilire o ricavare in qualunque altro modo) i valori dei coefficienti del controllore della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S150.

Nel caso di specie, come parametri fisici della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S150, vengono considerati il guadagno proporzionale K_p ed il tempo di integrazione T_i .

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, il tempo di integrazione T_i possa essere sostituito dal guadagno integrativo K_i .

Non si esclude nemmeno che alcune forme di attuazione possano prevedere di variare, sulla base dei summenzionati parametri fisici dell'anello 200, anche i/i

coefficienti/e della parte derivativa, ad esempio il guadagno derivativo K_d o equivalentemente il tempo di derivazione T_d .

Come nel caso precedente, i parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione possono essere scelti nel gruppo costituito da: peso dell'anello 200 in lavorazione, volume dell'anello 200 in lavorazione, spessore della parete anulare dell'anello 200 in lavorazione (chiamato anche "sezione" o "parete"), altezza dell'anello 200 in lavorazione ed infine diametro (es. diametro esterno o interno) dell'anello 200 in lavorazione.

In particolare, è preferibile che i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore S150 (ed eventualmente anche quelli della parte derivativa) possano essere variati almeno sulla base del peso dell'anello 200 in lavorazione (o equivalentemente del suo volume), ed eventualmente sulla base di almeno un parametro aggiuntivo scelto tra quelli che si modificano durante la laminazione dell'anello 200 in lavorazione, come ad esempio lo spessore o l'altezza.

Ancor più in particolare, è preferibile che i coefficienti K_p e T_i del controllore S150 vengano variati sulla base dei medesimi parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione che determinano anche i coefficienti variabili K_p e T_i dell'altro controllore S120.

Naturalmente, i parametri fisici dell'anello 200 possono essere misurati, calcolati o altrimenti ricevuti in input, mediante le stesse modalità già descritte con riferimento al controllore S120.

Sempre in analogia con il primo controllore S120, ciascuno dei coefficienti variabili K_p e T_i del controllore S150 può essere acquisito da una matrice (o tabella) di correlazione in cui una pluralità di valori di tale coefficiente sono memorizzati e

singularmente correlati ad un corrispondente valore di almeno uno dei suddetti parametri fisici dell'anello 200 in lavorazione, o a corrispondenti valori di una enupla di detti parametri fisici.

In questo modo, fornendo in input i valori del/dei parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione, il metodo di controllo può recuperare dalla matrice di correlazione i corrispondenti valori dei coefficienti K_p e T_i del controllore S150.

La matrice di correlazione può essere determinata empiricamente durante una fase preliminare di configurazione del metodo di controllo.

Ad esempio, la matrice di correlazione può essere determinata (o costruita) eseguendo una molteplicità di prove empiriche, utilizzando ogni volta anelli con caratteristiche differenti e, durante ogni prova, andando a stabilire empiricamente quali coefficienti K_p e T_i della parte proporzionale ed integrativa del controllore S150 permettono di ottenere una regolazione stabile della correzione da applicare alla velocità di rotazione dei rulli conici 130 e 135 (es. che non oscilli o che abbia oscillazioni che tendono a smorzarsi rapidamente) riducendo al massimo l'errore e, di conseguenza, portando ad una crescita uniforme e regolare dell'anello (priva di fluttuazioni e ondeggiamenti) senza originare rilevanti difetti di forma, come ad esempio difetti di circolarità, planarità e cilindricità.

In particolare, le prove empiriche possono essere effettuate con anelli aventi peso (ovvero volume) differente e ripetute, per ogni anello, in diverse fasi della sua "crescita" nel processo di laminazione (cui corrispondono generalmente sezione trasversale, diametro ed altezza differenti).

Mediante i coefficienti così determinati è quindi possibile popolare una o più matrici (o tabelle) che, per ogni valore dei parametri fisici dell'anello (es. peso, volume, sezione, ecc.), associano un corrispondente valore dei coefficienti K_p e T_i del

controllore S150.

In alternativa, ciascuno dei coefficienti variabili K_p e T_i del controllore S150 può essere calcolato mediante una funzione matematica che mette in relazione il/i parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione con il coefficiente variabile del controllore S150.

In questo modo, il metodo di controllo può calcolare di volta in volta i valori dei coefficienti K_p e T_i del controllore 150 in funzione dei valori del/dei parametro/i fisico/i dell'anello 200 in lavorazione,

Anche la funzione matematica può essere ottenuta empiricamente, ad esempio interpolando i valori dei coefficienti K_p e T_i che vengono ottenuti con le prove empiriche delineate in precedenza.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, la funzione matematica possa essere ottenuta su base teorica.

Si desidera anche qui evidenziare che la variazione dei coefficienti K_p e T_i del controllore S150 è preferibilmente eseguita ripetutamente ed in continuo durante la laminazione dell'anello 200 in lavorazione, ad esempio in contemporanea alla variazione dei coefficienti K_p e T_i del controllore S120.

In altre parole è preferibile che, durante il processo di laminazione dell'anello 200, i coefficienti K_p e T_i del controllore S150 varino con continuità a mano a mano che i parametri fisici del suddetto anello 200 (es. sezione, diametro ed altezza) si modificano.

In questo modo, si garantisce che anche la risposta dinamica del controllore S150 sia sempre la più adeguata in qualunque momento durante la laminazione dell'anello 200 in lavorazione.

Non si esclude tuttavia che, in altre forme di attuazione, i coefficienti K_p e T_i del

controllore S150 possano essere variati (regolati) nell'ambito di una fase di settaggio preliminare che viene eseguita prima di iniziare la laminazione dell'anello 200 e poi mantenuti costanti.

Questa soluzione potrebbe essere implementata qualora i coefficienti K_p e T_i del controllore S150 venissero variati solo sulla base del peso (o del volume) dell'anello 200 in lavorazione, giacché questi parametri rimangono sostanzialmente costanti durante l'intero processo di laminazione.

Tutte le considerazioni precedenti valgono naturalmente anche per i coefficienti K_d o T_d della parte derivativa del controllore S150, qualora fosse prevista la loro variazione.

Il metodo di controllo sopra delineato può essere vantaggiosamente eseguito in automatico da un'unità di elaborazione elettronica (non mostrata) del laminatoio 100, la quale è collegata ai vari organi attuatori ed ai sensori ed è configurata/programmata per eseguire le operazioni descritte.

Ovviamente a tutto quanto descritto in precedenza un tecnico del settore potrà apportare numerose modifiche di natura tecnico-applicativa, senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione come sotto rivendicata.

RIVENDICAZIONI

1. Un metodo di controllo di un laminatoio radiale-assiale (100) per anelli (200),

in cui il laminatoio radiale-assiale (100) comprende:

- un rullo principale (105) atto a stare a contatto con una superficie perimetrale esterna (205) dell'anello (200) in lavorazione,
- un rullo di contrasto (110) avente asse di rotazione (B) complanare all'asse di rotazione (A) del rullo principale (105) e atto a stare a contatto con una superficie perimetrale interna (210) dell'anello (200) in lavorazione,
- una coppia di rulli di guida (115) aventi assi di rotazione (C) paralleli all'asse di rotazione (A) del rullo principale (105) ed atti a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna (205) dell'anello (200) in lavorazione, ed
- una coppia di rulli conici (130, 135) aventi assi di rotazione (E) complanari su detto piano di simmetria (S), i quali sono rispettivamente atti a stare a contatto con le opposte estremità assiali (215, 220) dell'anello (200) in lavorazione,

in cui il metodo di controllo prevede di regolare la velocità di rotazione di ciascun rullo conico (130, 135) mediante le fasi di:

- stabilire un valore di riferimento (v) della velocità di rotazione del rullo conico (130, 135),
- applicare a detto valore di riferimento (v) una correzione ($d1$, $d2$) per ottenere un valore corretto (v^* , v^{**}) della velocità di rotazione del rullo conico (130, 135),
- azionare il rullo conico (130, 135) ad una velocità di rotazione avente il va-

lore corretto (v^* , v^{**}), ed

in cui la correzione ($d1$, $d2$) comprende almeno un contributo in retroazione ($r1$, $r2$) fornito da un controllore (S120, S150) di tipo proporzionale-integrativo o proporzionale-integrativo-derivativo,

caratterizzato dal fatto che il metodo di controllo prevede di variare almeno i coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore (S120, S150) sulla base del valore di almeno un parametro fisico dell'anello (200) in lavorazione.

2. Un metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detti coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa sono il guadagno proporzionale ed il tempo di integrazione.

3. Un metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detto parametro fisico dell'anello (200) in lavorazione è scelto nel gruppo costituito da: peso dell'anello (200) in lavorazione, volume dell'anello (200) in lavorazione, spessore dell'anello (200) in lavorazione, altezza dell'anello (200) in lavorazione, diametro dell'anello (200) in lavorazione.

4. Un metodo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascuno di coefficienti variabili del controllore (S120, S150) è fornito da una matrice di correlazione in cui una pluralità di valori del coefficiente variabile sono memorizzati e singolarmente correlati ad un corrispondente valore di detto almeno un parametro fisico dell'anello in lavorazione.

5. Un metodo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascuno dei coefficienti variabili del controllore (S120, S150) può essere calcolato mediante una funzione matematica che mette in relazione detto almeno un parametro fisico dell'anello in lavorazione con il coefficiente variabile del controllore.

6. Un metodo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui detta variazione dei coefficienti della parte proporzionale e della parte integrativa del controllore (S120, S150) è eseguita ripetutamente durante la laminazione dell'anello (200) in lavorazione.

7. Un metodo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui il contributo in retrazione (r_1) di almeno uno dei rulli conici (135) è ottenuto mediante le fasi di:

- misurare la forza (f_1 , f_2) applicata dall'anello (200) in lavorazione su ciascun rullo di guida (115),
- calcolare una differenza (e_1) tra le forze misurate,
- utilizzare detta differenza (e_1) come input del controllore (S120) che fornisce in uscita detto contributo in retrazione (r_1).

8. Un metodo secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui il contributo in retrazione (r_2) di almeno uno dei rulli conici (130) è ottenuto mediante le fasi di:

- misurare la coppia (c_1 , c_2) applicata a ciascun rullo conico (130, 135),
- calcolare una differenza (e_2) tra le coppie misurate (c_1 , c_2),
- utilizzare detta differenza (e_2) come input del controllore (S150) che fornisc

sce in uscita detto contributo in retrazione (r_2).

- 9.** Un laminatoio radiale-assiale (100) per anelli (200), comprendente:
- un rullo principale (105) atto a stare a contatto con una superficie perimetrale esterna (205) di un anello (200) in lavorazione,
 - un rullo di contrasto (110) avente asse di rotazione (B) parallelo all'asse di rotazione (A) del rullo principale (105) e atto a stare a contatto con una superficie perimetrale interna (210) dell'anello (200) in lavorazione,
 - una coppia di rulli di guida (115) aventi assi di rotazione (C) paralleli all'asse di rotazione (A) del rullo principale (105) ed atti a stare a contatto con la superficie perimetrale esterna (205) dell'anello (200) in lavorazione,
 - una coppia di rulli conici (130, 135) aventi assi di rotazione (E) complanari su detto piano di simmetria (S), i quali sono rispettivamente atti a stare a contatto con le opposte estremità assiali (215, 220) dell'anello (200) in lavorazione, ed
 - un'unità di elaborazione elettronica configurata per eseguire il metodo di controllo delineato in precedenza.
- 10.** Un software comprendente un codice informatico che, quando eseguito da un elaboratore elettronico, consente all'elaboratore elettronico di eseguire il metodo di una qualunque delle rivendicazioni da 1 a 8.

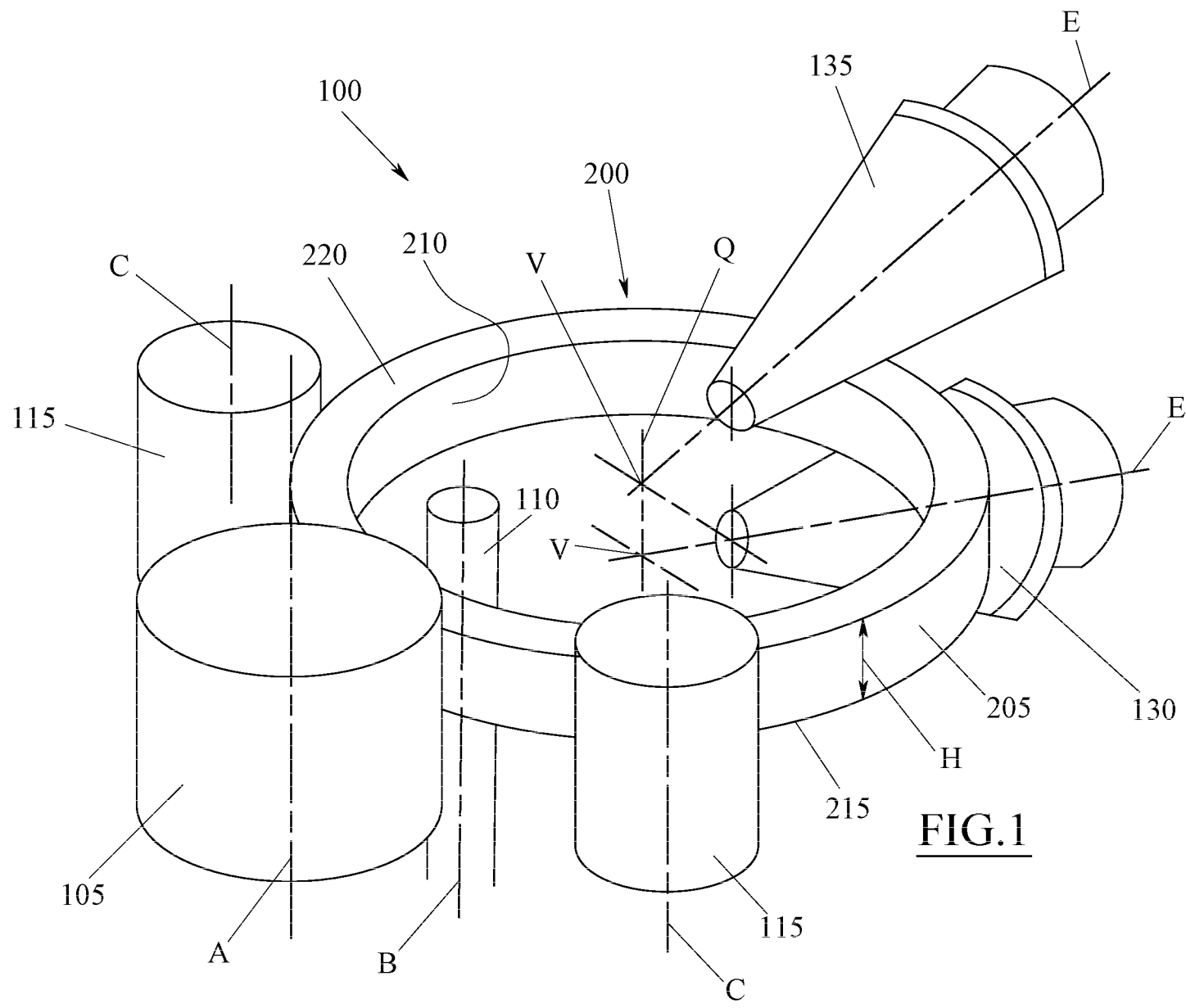


FIG.1

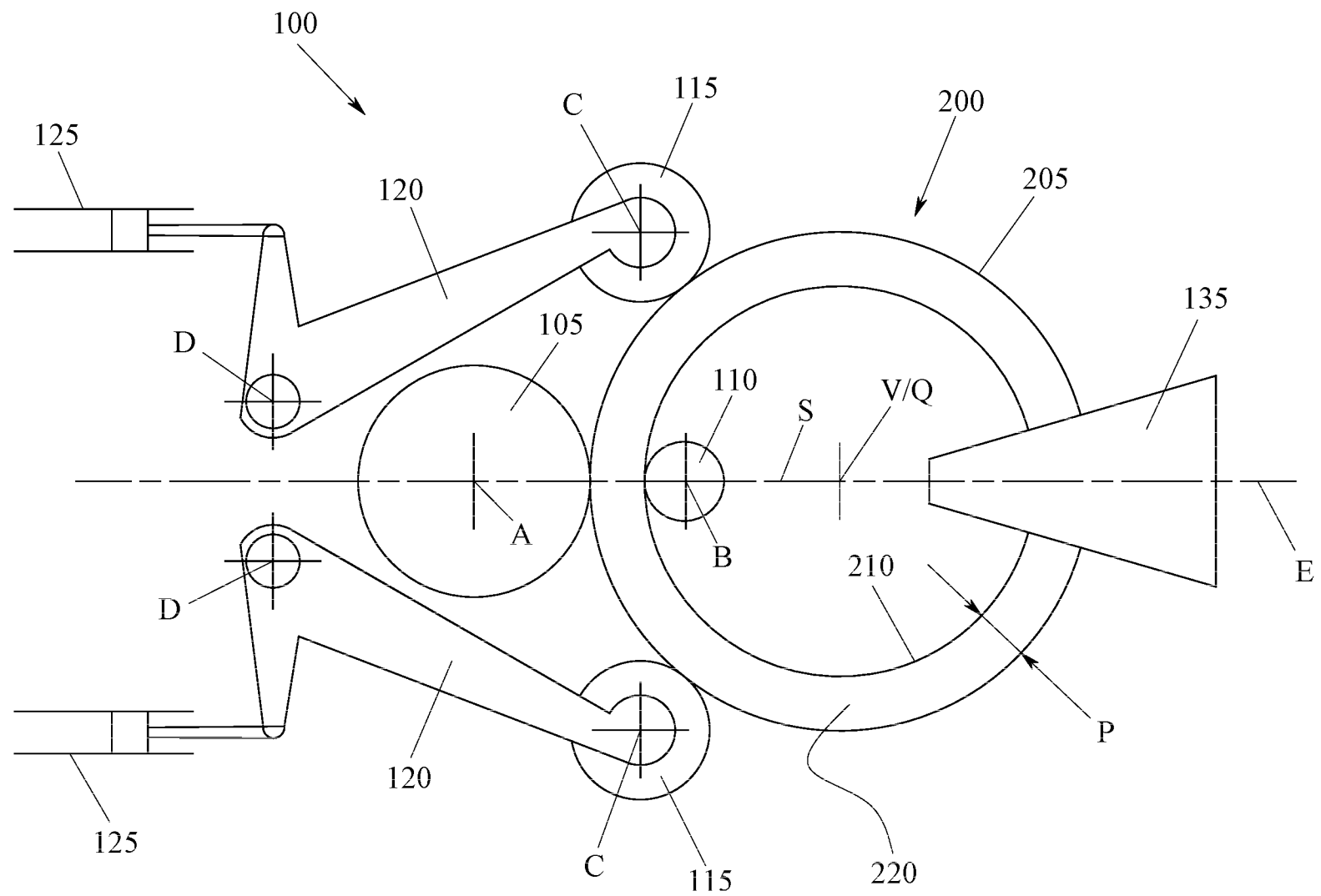


FIG.2

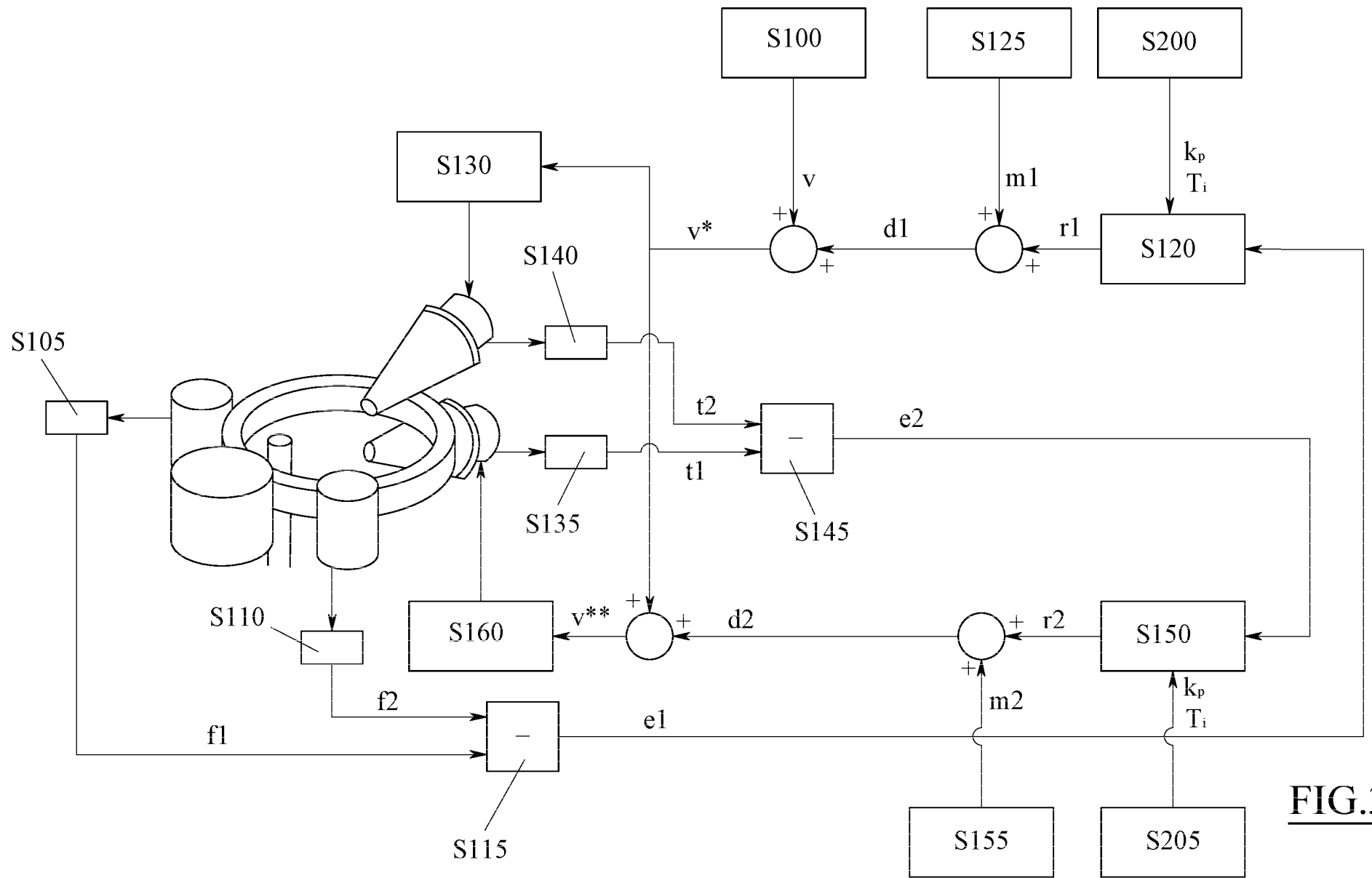


FIG.3