

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000027599
Data Deposito	28/10/2021
Data Pubblicazione	28/04/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	B	11	25

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	K	15	10

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	K	15	04

Titolo

METODO ED UNITA DI CONTROLLO DI UNA BARRA RIGIDA RIPIEGATA A FORCINA PER LA COSTRUZIONE DI UN AVVOLGIMENTO STATORICO DI UNA MACCHINA ELETTRICA ROTANTE

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"METODO ED UNITÀ DI CONTROLLO DI UNA BARRA RIGIDA RIPIEGATA
A FORCINA PER LA COSTRUZIONE DI UN AVVOLGIMENTO STATORICO DI
UNA MACCHINA ELETTRICA ROTANTE"

di MARPOSS SOCIETÀ PER AZIONI,

di nazionalità italiana,

con sede a VIA SALICETO 13

40010 BENTIVOGLIO (BO)

Inventore: Francesco Forastieri

Depositata il:

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione riguarda un metodo ed una unità di controllo di una barra rigida ripiegata a forcina per la costruzione di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante.

ARTE ANTERIORE

Tradizionalmente, l'avvolgimento statorico di una macchina elettrica viene realizzato mediante conduttori filiformi e flessibili di sezione circolare che vengono inizialmente avvolti in matasse; successivamente, le matasse vengono inserite nelle cave di statore e quindi vengono elettricamente collegate tra loro. Tale modalità costruttiva è complessa da automatizzare, in quanto è molto difficile

inserire in modo automatico le matasse all'interno delle cave di statore non avendo le matasse una forma stabile e dovendo venire deformate per passare attraverso la piccola apertura assiale delle cave.

Per superare le difficoltà di costruzione dell'avvolgimento statorico realizzato mediante conduttori filiformi e flessibili di sezione circolare, è stata proposta un avvolgimento statorico realizzato mediante barre rigide di sezione rettangolare. In un avvolgimento statorico realizzato mediante barre rigide, vengono utilizzate una serie di barre rigide che vengono inizialmente piegate ad U per venire conformate a forcina ("*hairpin*") e quindi vengono inserite assialmente nelle cave di statore formando un lato di ingresso, in cui si dispongono le cuspidi delle barre conformate a forcina, ed un lato di uscita, in cui si dispongono le gambe (cioè le porzioni diritte) delle barre conformate a forcina. Una volta inserite tutte le barre nelle cave di statore le gambe nel lato di uscita vengono torte (mediante una operazione denominata "*torcitura*") e quindi le estremità libere delle gambe vengono tra loro collegate mediante saldatura per costituire i percorsi elettrici dell'avvolgimento statorico.

Il processo di formazione delle barre rigide prevede di svolgere da una bobina un filo di rame (o di altro metallo conduttore) di sezione rettangolare che è stato

preventivamente isolato elettricamente con l'applicazione (tipicamente mediante un processo di verniciatura) di uno strato isolante, di sottoporre il filo ad un processo di raddrizzamento meccanico per eliminare la curvatura residua derivante dall'essere stato avvolto in bobina, di tagliare trasversalmente il filo per separare dal filo stesso una barra rigida dritta, ed infine di piegare ad "U" la barra rigida per conferire alla barra rigida stessa la forma a forcina desiderata. Un processo di formazione delle barre rigide è ad esempio descritto nel brevetto US7480987B1.

L'esecuzione ottimale dell'avvolgimento statorico prevede di minimizzare gli spazi vuoti presenti tra due barre rigide adiacenti e tra le barre rigide e le pareti delle cave, in quanto tanto minori sono gli spazi vuoti, tanto maggiore è il coefficiente di riempimento della cave e quindi tanto maggiori sono le prestazioni della macchina elettrica rotante a parità di dimensioni esterne e di peso. Per minimizzare gli spazi vuoti è necessario che le dimensioni (sia lineari, sia angolari) delle barre rigide conformate a forcina siano molto precise, ovvero siano corrispondenti con una tolleranza costruttiva molto piccola alle dimensioni nominali (ovvero di progetto).

Per verificare che le dimensioni (sia lineari, sia angolari) delle barre rigide conformate a forcina rientrino nelle tolleranze costruttive ammesse è stato proposto di

eseguire un controllo ottico di ciascuna barra rigida dopo la sua formazione e prima del suo inserimento nel nucleo ferromagnetico dello statore; tale controllo ottico prevede di acquisire (almeno) una immagine digitale della barra rigida e quindi di analizzare l'immagine digitale per ricavare dalla immagine digitale una stima precisa delle dimensioni (sia lineari, sia angolari) della barra rigida. Tuttavia, le caratteristiche dello smalto isolante e semitrasparente che ricopre le barre rigide rende la misura mediante visione particolarmente rumorosa; ovvero l'analisi dell'immagine digitale della barra rigida è estremamente complessa ed ultimamente non adeguatamente precisa a causa dei riflessi e delle rifrazioni determinate dallo smalto isolante e semitrasparente. A complicare il contesto contribuisce l'estrema variabilità nella immagine digitale di una barra rigida al variare del produttore del rame isolato utilizzato per la costruzione della barra rigida stessa. Queste condizioni rendono praticamente impossibile mettere a punto dei filtri che possano eliminare in modo affidabile e sistematico il rumore di acquisizione delle immagini digitali delle barre rigide conformate a forcina.

Tra l'altro, l'elevata produttività degli impianti che costruiscono un avvolgimento statorico mediante barre rigide piegate a forcina impone di controllare ciascuna barra rigida piegata a forcina in tempi molto brevi (generalmente

inferiori al secondo) impendendo quindi il ricorso a misure mediante tastatori meccanici che sono molto precise ma anche troppo lente.

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è fornire un metodo ed una unità di controllo di una barra rigida ripiegata a forcina per la costruzione di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante, i quali metodo ed unità di controllo permettano di determinare con precisione e rapidità le effettive dimensioni della barra rigida ripiegata a forcina.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un metodo ed una unità di controllo di spessore di una barra rigida ripiegata a forcina per la costruzione di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante, secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

Le rivendicazioni descrivono forme di realizzazione della presente invenzione formando parte integrante della presente descrizione.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista prospettica e schematica di una barra rigida ripiegata a forcina e destinata a

realizzare parte di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante; e

- la figura 2 è una vista prospettica, schematica e con parti asportate per chiarezza di un impianto di formazione che realizza le barre rigide ripiegate a forcina ed è provvisto di una unità di controllo realizzata in accordo con la presente invenzione.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 di riferimento è indicata nel suo complesso una barre rigida ripiegata a forcina (ovvero conformata ad "U").

La barra 1 rigida ripiegata a forcina comprende due gambe 2 collegate tra loro da una cuspide 3; è importante osservare che la barra 1 rigida ripiegata a forcina presenta una piegatura "*tridimensionale*", cioè una piegatura su due piani tra loro perpendicolari.

La barra 1 rigida ripiegata a forcina presenta in sezione trasversale una forma rettangolare comprendente un cuore 4 elettricamente conduttore (ovvero di materiale metallico, tipicamente rame) ed uno strato 5 isolante semitrasparente che circonda il cuore 4 ed è tipicamente applicato mediante un processo di verniciatura.

Nella figura 2, con il numero di riferimento 6 è indicato nel suo complesso un impianto di formazione della barra 1 rigida ripiegata a forcina.

L'impianto 6 di formazione comprende un dispositivo 7 svolgitore per svolgere da una bobina 8 un filo 9 isolato di materiale elettricamente conduttore che presenta la stessa sezione trasversale rettangolare della barra 1 rigida.

L'impianto 6 di formazione comprende un dispositivo 10 di raddrizzamento, il quale sottopone il filo 9 isolato ad un processo di raddrizzamento per eliminare la curvatura residua derivante dall'essere stato avvolto in bobina. Il dispositivo 10 di raddrizzamento è disposto immediatamente a valle del dispositivo 7 svolgitore in modo tale che, non appena svolto dalla bobina 8, il filo 9 isolato sia sottoposto come prima lavorazione al processo di raddrizzamento.

L'impianto 6 di formazione comprende un dispositivo 11 di misura che misura in linea la conducibilità elettrica tra il cuore 4 e la superficie esterna del filo 9 isolato; in altre parole, il dispositivo 11 di misura rileva la continuità dello strato 5 isolante del filo 9 isolato per verificare che lo strato 5 isolante sia integro; tale rilevazione viene eseguita misurando la conducibilità elettrica tra il cuore 4 e la superficie esterna del filo 9 isolato, ovvero verificando se esiste un sufficiente isolamento elettrico tra il cuore 4 e la superficie esterna del filo 9 isolato.

L'impianto 6 di formazione comprende un dispositivo 12 piegatore (noto e non illustrato in dettaglio) che piega ad "U" una estremità finale del filo 9 isolato in modo da realizzare una barra 1 rigida presentante due gambe 2 collegate tra loro da una cuspid 3 (come meglio illustrato nella figura 1) ed un dispositivo 13 di taglio (noto e non illustrato in dettaglio) che taglia trasversalmente il filo 9 isolato per separare la barra 1 rigida dalla restante parte del filo 9. E' importante sottolineare che la piegatura ad "U" della estremità finale del filo 9 isolato per realizzare la barra 1 rigida può venire indifferentemente eseguita prima o dopo il taglio trasversale del filo 9 isolato per separare la barra 1 rigida dalla restante parte del filo 9 isolato. In altre parole, è possibile tagliare trasversalmente il filo 9 per separare la barra 1 rigida ancora diritta e quindi piegare ad "U" la barra 1 rigida solo dopo il taglio, oppure è possibile tagliare trasversalmente il filo 9 dopo la piegatura ad "U" per separare la barra 1 rigida già piegata ad "U".

L'impianto 6 di formazione comprende una unità 14 di controllo che è disposta a valle del dispositivo 12 piegatore ed è configurata per eseguire un controllo dimensionale (sia lineare, sia angolare) su ciascuna barra 1 rigida piegata a forcina proveniente dal dispositivo 12 piegatore; lo scopo del controllo eseguito dalla unità 14 di controllo è

determinare con precisione e rapidità le effettive dimensioni (sia lineari, sia angolari) di ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina per verificare se la barra 1 rigida ripiegata è conforme alle specifiche (ovvero se le sue dimensioni sono, al netto delle tolleranze di costruzione ammesse, identiche alle dimensioni nominali). In altre parole, l'unità 14 di controllo misura la deformazione di ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina valle del dispositivo 12 piegatore, ovvero quanto la conformazione reale della barra 1 rigida ripiegata a forcina differisce dalla conformazione nominale (desiderata).

L'unità 14 di controllo comprende un dispositivo 15 di acquisizione ottico che è configurato per acquisire (almeno) una immagine 16 digitale (preferibilmente tridimensionale) di ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina proveniente dal dispositivo 12 piegatore ed un dispositivo 17 di elaborazione che è collegato al dispositivo 15 di acquisizione ed è configurato per analizzare l'immagine 16 digitale.

Secondo una preferita forma di attuazione, l'immagine 16 digitale è tridimensionale (ovvero è un insieme, una nuvola, di punti nello spazio) e il dispositivo 15 di acquisizione ottico comprende un profilometro laser tridimensionale oppure un sistema di almeno due telecamere digitali distinte e diversamente orientate. Secondo una

alternativa forma di attuazione (più semplice ma anche meno precisa), l'immagine 16 digitale è bidimensionale (ovvero è un insieme, una nuvola, di punti in un piano) e il dispositivo 15 di acquisizione ottico comprende una singola telecamera digitale.

Secondo una preferita forma di attuazione, ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina viene avanzata in corrispondenza dell'unità 14 di controllo (ovvero di fronte all'obiettivo del dispositivo 15 di acquisizione ottico) venendo impegnata da una pinza 18 che afferra la cuspidi 3 della barra 1 rigida ripiegata a forcina. In particolare, l'unità 14 di controllo che esegue l'ispezione ottica di ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina è disposta tra il dispositivo 12 piegatore ed una stazione di formatura in cui viene composto l'avvolgimento di statore e ciascuna barra 1 rigida ripiegata a forcina viene trasferita dal dispositivo 12 piegatore alla stazione di formatura mediante una pinza 18 che trattiene la barra 1 rigida ripiegata a forcina.

Per analizzare l'immagine 16 digitale di una barra 1 rigida reale (ovvero effettivamente costruita dal dispositivo 12 piegatore), il dispositivo 17 di elaborazione utilizza un modello tridimensionale ideale corrispondente ad una barra 1 rigida ideale (nominale) e quindi partendo dal modello tridimensionale ideale deforma il modello tridimensionale ideale per determinare un modello

tridimensionale deformato che riproduce il più fedelmente possibile la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale. In altre parole, il modello tridimensionale ideale viene deformato per ottenere il modello tridimensionale deformato che si adatta il più fedelmente possibile alla barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale.

Il modello tridimensionale ideale delle barre 1 rigide viene importato (acquisito) in una fase preliminare ed una volta per tutte; a tale proposito è importante osservare che il modello tridimensionale ideale delle barre 1 rigide è un dato di progetto noto a priori in quanto costituisce la indispensabile base di partenza per realizzare le barre 1 rigide.

In particolare, il dispositivo 17 di elaborazione utilizza un algoritmo di deformazione che deforma il modello tridimensionale ideale ottenendo un modello tridimensionale deformato che si adatta il più fedelmente possibile alla barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale. Ad esempio, l'algoritmo di deformazione minimizza (ottimizza) lo scarto (distanza) complessivo esistente tra una serie di punti di riferimento del modello tridimensionale deformato ed i corrispondenti punti di riferimento della barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale.

Per ottenere il modello tridimensionale deformato è

sufficiente identificare nella immagine 16 digitale in modo accurato la superficie (non necessariamente piana) sulla quale giace la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale stessa ed utilizzare tale superficie per deformare opportunamente il modello tridimensionale ideale: quello che si ottiene è il modello tridimensionale deformato che è rappresentativo della barra 1 rigida reale (oggetto dell'ispezione) riprodotta nella immagine 16 digitale. Dovendo identificare unicamente la superficie sulla quale giace la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale è possibile utilizzare filtri aggressivi per la riduzione del rumore, anche se portano all'eliminazione dalla nuvola di alcuni punti buoni: i punti rimanenti sono comunque sufficienti per individuare con la necessaria accuratezza la superficie sulla quale giace la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale.

Una volta che il dispositivo 17 di elaborazione ha ottenuto il modello tridimensionale deformato deformando il modello tridimensionale ideale per adattare il modello tridimensionale ideale alla barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale, il dispositivo 17 di elaborazione esegue tutte le misure necessarie sul modello tridimensionale deformato. Ovvero il dispositivo 17 di elaborazione misura il modello tridimensionale deformato per determinare le dimensioni (sia lineari, sia angolari) della

barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale.

In altre parole, essendo l'immagine 16 digitale così disturbata da non permettere di eseguire direttamente delle misure precise sulla immagine 16 digitale stessa, il dispositivo 17 di elaborazione prima ricava il modello tridimensionale deformato che riproduce fedelmente (ovvero il più fedelmente possibile) la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale e quindi esegue tutte le misure richieste utilizzando solo il modello tridimensionale deformato.

Il dispositivo 17 di elaborazione, oltre a conoscere il modello tridimensionale ideale di ciascuna barra 1 rigida, conosce preventivamente e con elevata precisione anche le dimensioni della barra 1 rigida prima della piegatura (è un dato di progetto con una tolleranza di lavorazione molto bassa).

Secondo una possibile forma di attuazione, il dispositivo 17 di elaborazione non utilizza solo il modello tridimensionale ideale di ciascuna barra 1 rigida, ma utilizza anche un modello tridimensionale della pinza 18 (che può essere estremamente preciso, ovvero corrispondente alla realtà, senza bisogno di alcun aggiustamento in quanto la pinza 18 è sempre la stessa e può venire rilevata tridimensionalmente con grande accuratezza una volta per tutte). Avendo a disposizione anche il modello

tridimensionale della pinza 18 (che non deve venire deformato in quanto è già stato adattato alla pinza 18 reale che viene utilizzata) è possibile generare una migliore parametrizzazione dell'algoritmo di deformazione, ottenendo così un modello tridimensionale deformato maggiormente fedele alla realtà (ovvero più preciso).

In altre parole, in una fase preliminare ed una volta per tutte, viene importato un modello tridimensionale ideale della pinza 18 che viene quindi modificato (deformato) per correggere le differenze rispetto alla pinza 18 reale ed ottenere quindi un modello tridimensionale reale della pinza 18. Ovvero, in una fase preliminare ed una volta per tutte, viene determinato un modello tridimensionale reale della pinza 18 partendo da un modello tridimensionale ideale della pinza 18 che viene quindi modificato (deformato). La pinza 18 (o le pinze 18 se sono presenti più pinze 18) è sempre la stessa che ciclicamente esegue il trasporto delle barre 1 rigide e quindi, in una fase preliminare ed una volta per tutte, è possibile determinare un modello tridimensionale reale della pinza 18 (o di ciascuna pinza 18).

Il dispositivo 17 di elaborazione, una volta determinata le misure della barra 1 rigida reale riprodotta in ciascuna immagine 16 digitale, può confrontare le misure della barra 1 rigida reale con le corrispondenti misure nominali (desiderate) per stabilire se la barra 1 rigida

reale è conforme alle specifiche (e quindi può venire utilizzata nella costruzione di un avvolgimento di statore) oppure non è conforme alle specifiche (e quindi deve venire sottoposta ad ulteriori lavorazioni per correggere i difetti o deve venire scartata).

Le forme di attuazione qui descritte si possono combinare tra loro senza uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione.

Il metodo di controllo sopra descritto presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, il metodo di controllo sopra descritto permette di misurare con estrema precisione ciascuna barra 1 rigida reale mediante una analisi di una corrispondente immagine 16 digitale che riproduce la barra 1 rigida reale stessa; in particolare, l'errore di misura ammesso è dell'ordine di $0,1^\circ$ per le misure angolari e di qualche centinaio di micron per le misure lineari. Questo risultato viene ottenuto grazie al fatto che l'immagine 16 digitale della barra 1 rigida reale non viene utilizzata per eseguire direttamente le misure desiderate (sia lineari, sia angolari): l'immagine 16 digitale è troppo disturbata per ricavare direttamente delle misure precise; invece, l'immagine 16 digitale della barra 1 rigida reale può venire utilizzata con profitto per ottenere il modello tridimensionale deformato che riproduce fedelmente (ovvero

il più fedelmente possibile) la barra 1 rigida reale riprodotta nella immagine 16 digitale.

Il modello tridimensionale deformato è facilmente ottenibile anche quando l'immagine 16 digitale è disturbata perché, partendo dal modello tridimensionale ideale corrispondente ad una barra 1 rigida ideale (nominale) la deformazione da applicare al modello tridimensionale ideale è comunque modesta (il processo di formazione delle barre 1 rigide è accurato e quindi le differenze rispetto al modello tridimensionale ideale sono sempre modeste). Inoltre, il modello tridimensionale deformato è facilmente ottenibile anche quando l'immagine 16 digitale è disturbata perché, mentre per eseguire le misure è necessario che l'immagine 16 digitale conservi tutte le parti della barra 1 rigida reale, per deformare il modello tridimensionale ideale è sufficiente che l'immagine 16 digitale conservi solo alcune delle parti della barra 1 rigida reale e quindi prima di deformare il modello tridimensionale ideale è possibile applicare dei filtri molto aggressivi che eliminino efficacemente tutti i disturbi anche al costo di eliminare alcune parti della barra 1 rigida reale.

Inoltre, il metodo di controllo sopra descritto è particolarmente rapido e quindi permette di controllare ciascuna barra 1 rigida piegata a forcina in tempi molto brevi (frazioni di secondo).

Infine, il metodo di controllo sopra descritto presenta un costo di implementazione contenuto in quanto utilizza una comune telecamera per acquisire le immagini 16 digitali e non richiede capacità (potenze) di elaborazione particolarmente elevate.

ELENCO DEI NUMERI DI RIFERIMENTO DELLE FIGURE

- | | |
|----|-------------------------------|
| 1 | barra rigida |
| 2 | gambe |
| 3 | cuspidi |
| 4 | cuore |
| 5 | strato isolante |
| 6 | impianto di formazione |
| 7 | dispositivo svolgitore |
| 8 | bobina |
| 9 | filo |
| 10 | dispositivo di raddrizzamento |
| 11 | dispositivo di misura |
| 12 | dispositivo piegatore |
| 13 | dispositivo di taglio |
| 14 | unità di controllo |
| 15 | dispositivo di acquisizione |
| 16 | immagine digitale |
| 17 | dispositivo di elaborazione |
| 18 | pinza |

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Metodo di controllo di una barra (1) rigida ripiegata a forcina per la costruzione di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante; il metodo di controllo comprende le fasi di:

acquisire una immagine (16) digitale di una barra (1) rigida reale ripiegata a forcina; ed

analizzare l'immagine (16) digitale per determinare almeno una misura della barra (1) rigida reale;

il metodo di controllo è **caratterizzato dal fatto di** comprendere le ulteriori fasi di:

importare, in una fase preliminare ed una volta per tutte, un modello tridimensionale ideale di una barra (1) rigida ideale;

deformare, utilizzando l'immagine (16) digitale della barra (1) rigida reale, il modello tridimensionale ideale per determinare un modello tridimensionale reale che riproduce il più fedelmente possibile la barra (1) rigida reale rappresentata nella immagine (16) digitale; e

ricavare delle misure della barra (1) rigida reale rappresentata nella immagine (16) digitale unicamente misurando il modello tridimensionale reale.

2) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1 e comprendente l'ulteriore fase di sottoporre l'immagine (16) digitale ad un filtraggio per eliminare eventuali disturbi prima di deformare, utilizzando l'immagine (16) digitale

della barra (1) rigida reale, il modello tridimensionale ideale.

3) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 2, in cui, se necessario, il filtraggio può eliminare dalla l'immagine (16) digitale anche alcune parti della barra (1) rigida reale.

4) Metodo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3 e comprendente le ulteriori fasi di:

identificare nella immagine (16) digitale solo una superficie sulla quale giace la barra (1) rigida reale riprodotta nella immagine (16) digitale stessa; ed

utilizzare solo detta superficie per deformare il modello tridimensionale ideale e quindi ottenere il modello tridimensionale deformato.

5) Metodo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 4 e comprendente le ulteriori fasi di:

afferrare la barra (1) rigida reale ripiegata a forcina mediante una pinza (18) per avanzare la barra (1) rigida reale di fronte ad un dispositivo (15) di acquisizione che acquisisce l'immagine (16) digitale;

importare, in una fase preliminare ed una volta per tutte, un modello tridimensionale della pinza (18); e

considerare anche il modello tridimensionale della pinza (18) per deformare, utilizzando l'immagine (16) digitale della barra (1) rigida reale, il modello

tridimensionale ideale.

6) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 5, in cui, per deformare, utilizzando l'immagine (16) digitale della barra (1) rigida reale, il modello tridimensionale ideale, viene considerato un modello tridimensionale reale della pinza (18) determinato, in una fase preliminare ed una volta per tutte, partendo da un modello tridimensionale ideale della pinza (18).

7) Metodo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui viene utilizzato un algoritmo di deformazione che deforma il modello tridimensionale ideale ottenendo un modello tridimensionale deformato che si adatta il più fedelmente possibile alla barra (1) rigida reale riprodotta nella immagine (16) digitale.

8) Metodo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7 e comprendente l'ulteriore fase di confrontare le misure della barra (1) rigida reale con corrispondenti misure nominali per determinare se la barra (1) rigida reale è conforme o non conforme.

9) Metodo di controllo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui l'immagine (16) digitale è un'immagine tridimensionale.

10) Unità (14) di controllo di una barra (1) rigida ripiegata a forcina per la costruzione di un avvolgimento statorico di una macchina elettrica rotante; l'unità (14) di

controllo comprende:

un dispositivo (15) di acquisizione per acquisire una immagine (16) digitale della barra (1) rigida ripiegata a forcina; ed

un dispositivo (17) di elaborazione configurato per analizzare l'immagine (16) digitale in modo da determinare almeno una misura della barra (1) rigida ripiegata a forcina;

l'unità (14) di controllo è **caratterizzato dal fatto che** il dispositivo (17) di elaborazione è configurato per:

importare, in una fase preliminare ed una volta per tutte, un modello tridimensionale ideale di una barra (1) rigida ideale;

deformare, utilizzando l'immagine (16) digitale della barra (1) rigida reale, il modello tridimensionale ideale per determinare un modello tridimensionale reale che riproduce il più fedelmente possibile la barra (1) rigida reale rappresentata nella immagine (16) digitale; e

ricavare delle misure della barra (1) rigida reale rappresentata nella immagine (16) digitale unicamente misurando il modello tridimensionale reale.

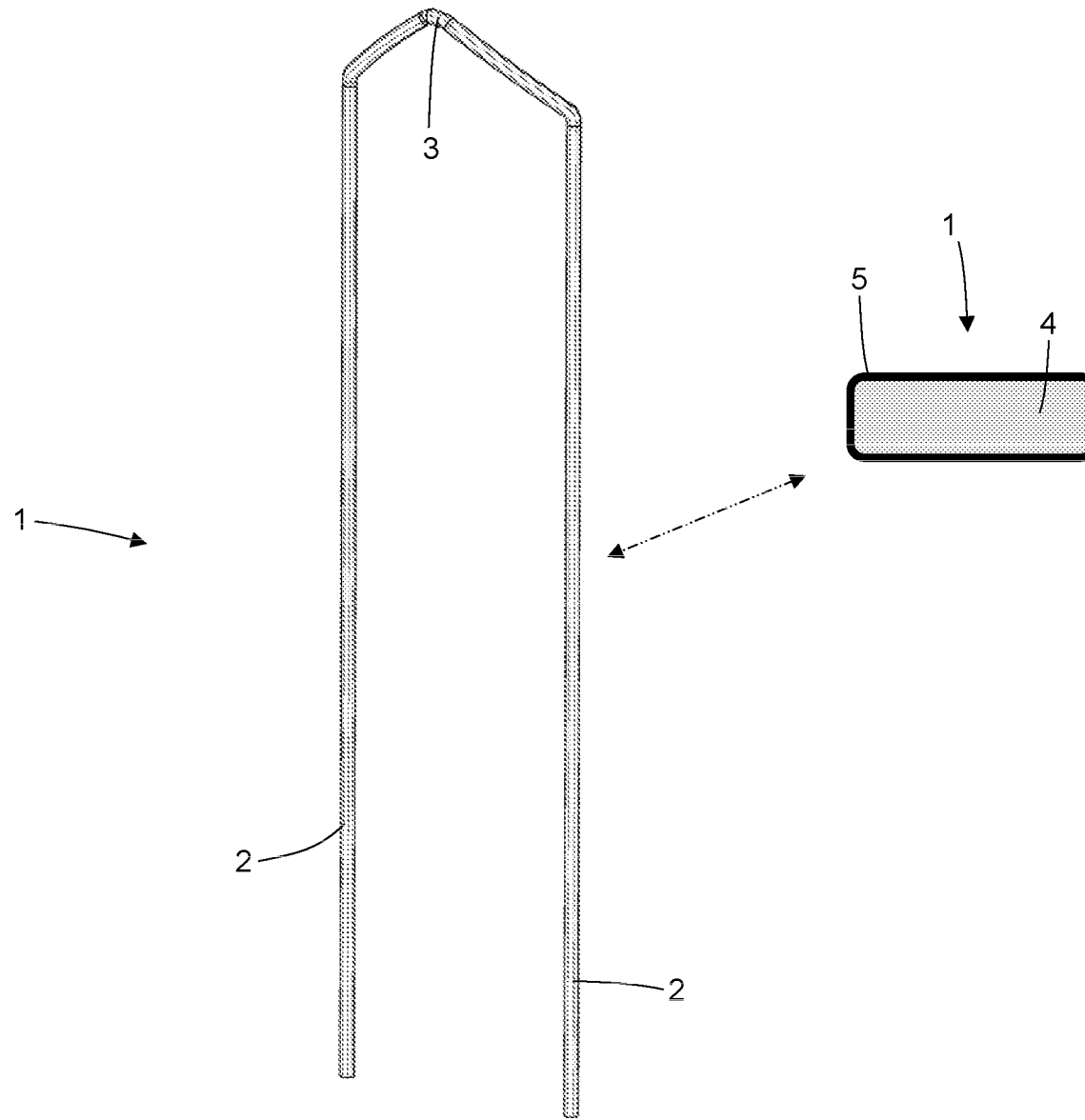


Fig. 1

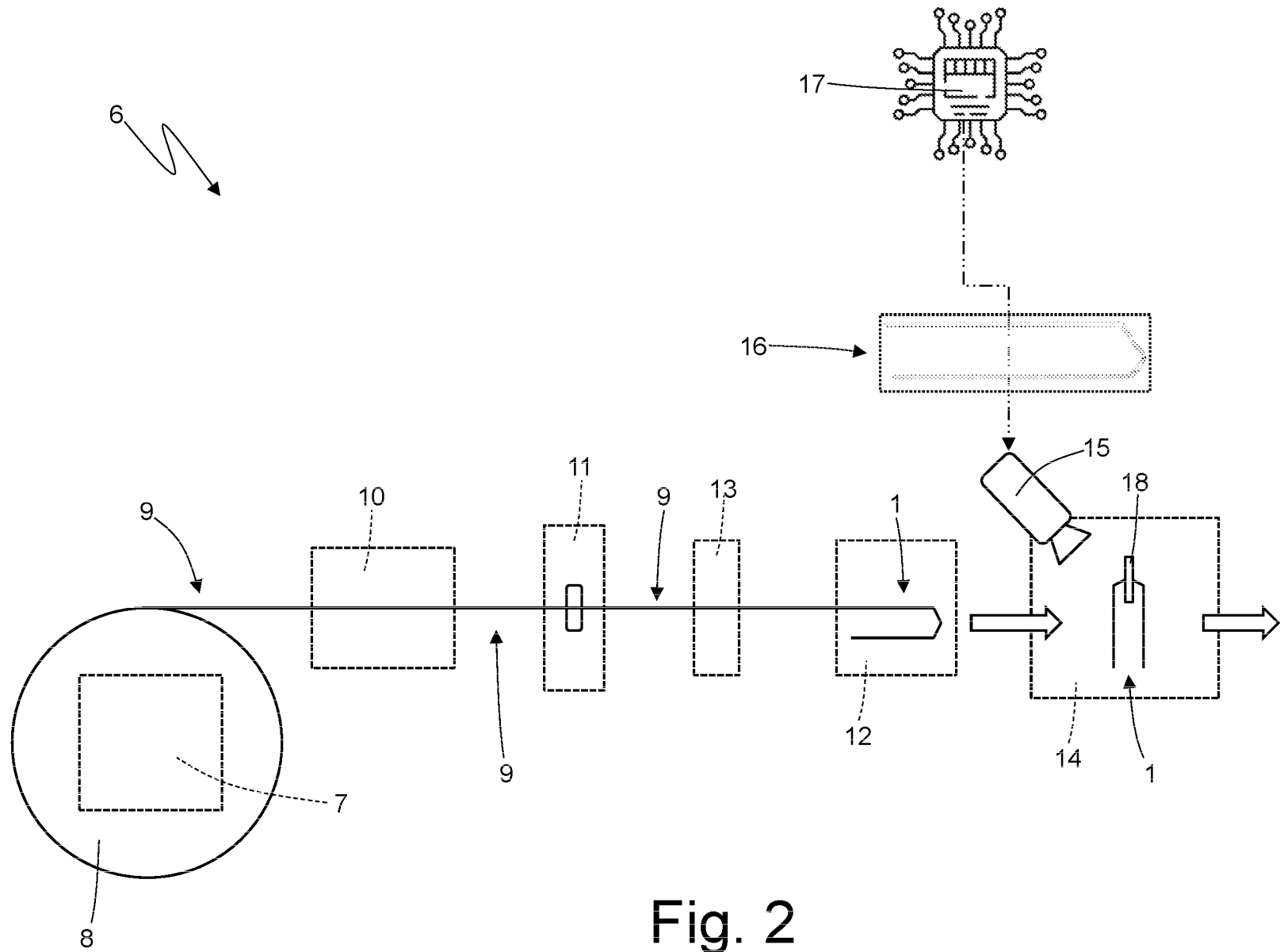


Fig. 2