



Esempio di costruzione della sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata CS EASY 5-15,0 LE
Foto: Witel-Albert GmbH

Il futuro del successo Sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata

Motivazione: La prospettiva globale mostra per aziende concorrenti simili spazi d'azione con variabili identici i cui valori però possono variare localmente. A mo' d'esempio si accenna ai costi di lavoro, energia e materie prime.

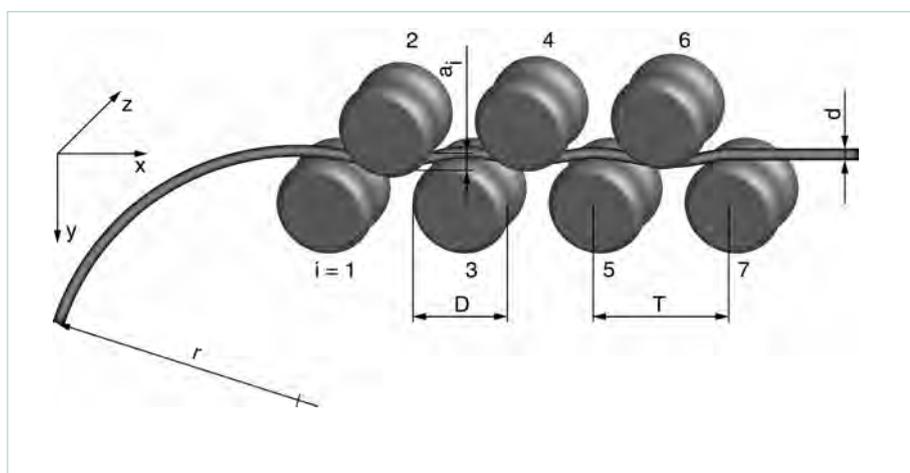
Per compensare gli svantaggi che ne conseguono si offre una strategia di differenziazione che punta su processi di produzione moderni. I criteri di un processo di produzione moderno sono, fra altri

- la disponibilità di dati di processo e registrazione prima dell'avvio del processo,
- un preciso, rapido e fidato salvamento dei dati di registrazione nonché
- a possibilità di produrre anche prodotti specifici del cliente in piccoli

lotti secondo le leggi della produzione di massa (mass customization).

L'eccellenza nella progettazione e ottimizzazione del processo, una tecnica intelligente e flessibile di apparecchi e macchine nonché una sviluppata tecnologia informatica e comunicativa sono premesse imprescindibili per la configurazione di tali processi di produzione. Se si esamina la catena di processi nell'industria del filo metallico, allora il processo di raddrizzatura a rulli si dimostra come uno dei più

importanti processi produttivi. Sia nella produzione sia nella lavorazione del filo la raddrizzatura determina le variabili tecniche e commerciali che sono decisive per il buon esito o il fiasco economico. Se per esempio le condizioni geometriche di consegna come secondo la Direttiva EN 10218-2 non sono riempite, con certezza non ne consegue un successo monetario. Un identico risultato emerge quando le prescrizioni di consegna geometriche, benché rispettate, richiedono un



Processo schematico del processo di raddrizzatura a rulli con parametri base selezionati

Valori determinati con logica Fuzzy per il numero di rulli n

Δr [mm]	R_p [MPa]	$n[-]$
0	1000	5
60	1000	7
100	1000	9
100	2000	11
160	2000	13

dispendio troppo grande di tempo, materiale e lavoro, la produzione è dunque appena effettiva. Per aggiunta, oltre alle prescrizioni geometriche, rivestono crescente importanza anche altre informazioni e proprietà che sono di grande rilievo per i processi di lavorazione e elaborazione a valle della raddrizzatura. In queste circostanze anche la raddrizzatura si sviluppa in un processo di produzione che consente l'identificazione del materiale su tutta la lunghezza e allo stesso tempo è in grado di registrare una determinata caratteristica in modo costante.

Su questo sfondo complesso è incomprendibile perché la tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata finora abbia trovato un'accettazione e divulgazione che rimane indietro rispetto alla sue possibilità. Analizzando soluzioni a isola [1], [2] si osserva inoltre che dalle caratteristiche summenzionate solo quella del salvamento dei dati di registrazione è stata realizzata. Le altre non sono sfruttate in pratica in relazione con la raddrizzatura parzialmente automatizzata. L'innovazione come creatività diventata realtà [3] sta alla larga benché sovranano svantaggi concorrenziali. Regna una debolezza innovativa poiché i decisori sfuggono l'investimento presunto elevato. Di regola non si fa nemmeno un tentativo di confrontare il costo d'investimento con i vantaggi tecnici ed economici. I fornitori pos-

sono aiutare a vincere la debolezza innovativa se offrono soluzioni idonee e a buon prezzo per la moderna raddrizzatura parzialmente automatizzata e trovano le vie per formulare i vantaggi di questa tecnica in modo trasparente. Accettiamo questa sfida anche se non mettiamo in pratica le consuete strategie e percorriamo invece vie alternative.

Il processo di raddrizzatura a rulli

La raddrizzatura diventa necessaria principalmente dall'esigenza di modificare o eliminare dal materiale le curvature indotte da processi meccanici o termici desiderati o non desiderati. Secondariamente la raddrizzatura influenza i parametri meccanici del materiale.

Un raddrizzatore ha su ogni lato due file di rulli a disposizione sfalsata. La regolazione dei rulli registrabili ai causa nel materiale durante il suo percorso attraverso il raddrizzatore deformazioni elasto-plastiche alterne che sono fondamentali per il cambiamento dei parametri geometrici e meccanici del materiale. Per la raddrizzatura di un filo con diametro d , la Fig. 1 mostra parametri selezionati del materiale e del raddrizzatore.

Ogni raddrizzatore copre un campo specifico determinato dal passo T (distanza tra i rulli) e il diametro rullo D (Fig. 1). In conformità a questi dati, il campo raddrizzatura Δ ha un limite ammissibile per le sezioni minima e

massima del materiale da raddrizzare. Per fili tondi sono rilevanti il diametro minimo d_{\min} e il diametro massimo d_{\max} .

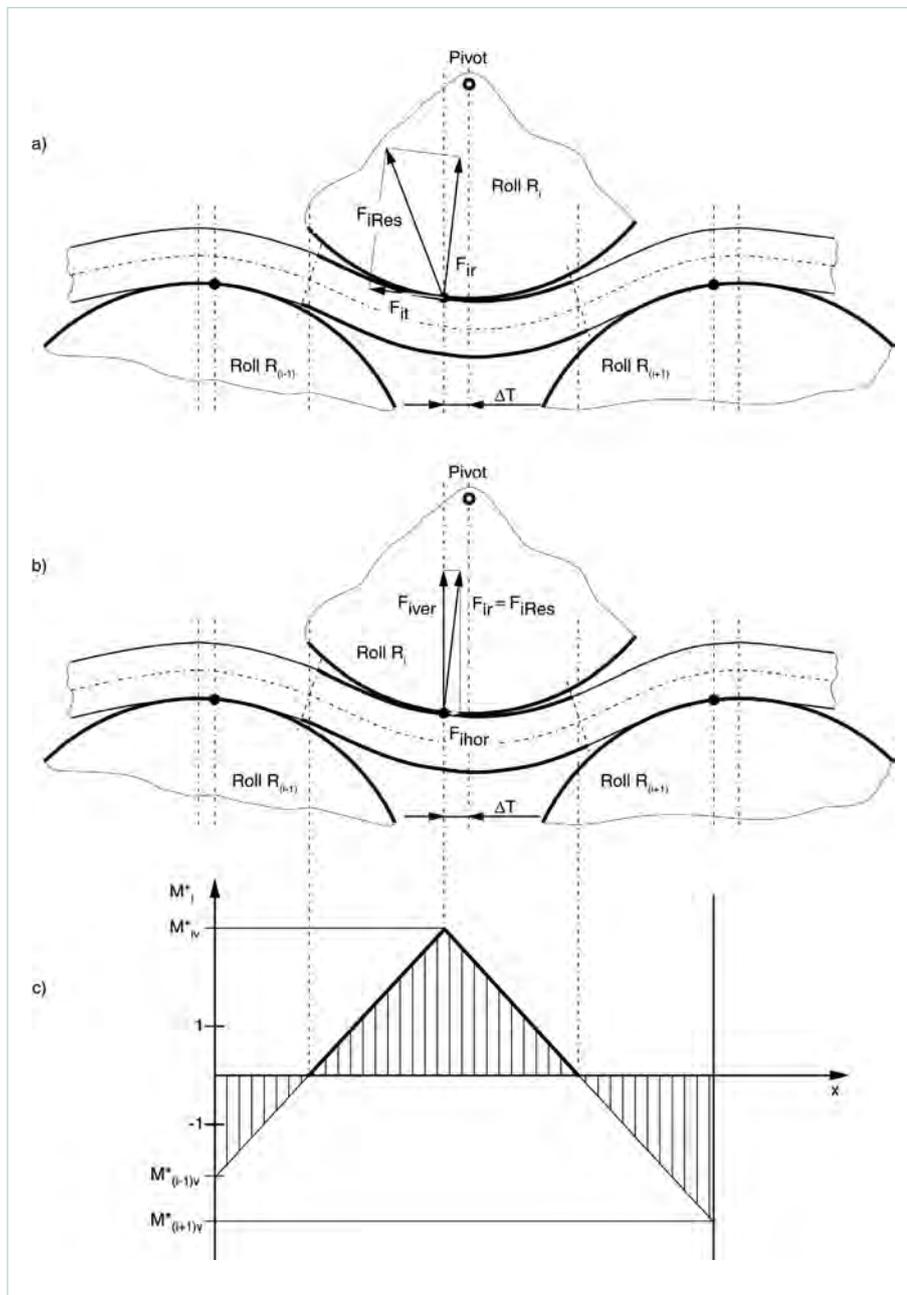
$$d_{\min} \leq \Delta \leq d_{\max} \quad \text{equazione 1}$$

Il numero di rulli necessari n di un raddrizzatore varia in funzione del limite di allungamento R_p e del campo del raggio di curvatura Δr delimitato dal raggio di curvatura massimo (r_{\max}) e minimo (r_{\min}).

$$\Delta r = |r_{\max} - r_{\min}| \quad \text{equazione 2}$$

Quale regola fondamentale vale che più grande sia il limite di allungamento e il campo del raggio di curvatura, più grande è il numero di rulli necessari per raggiungere un prodotto finito di alta qualità.

La determinazione del numero di rulli n avviene utilizzando la logica Fuzzy. Un sistema Fuzzy è costituito da cognizioni ricavate da regolarità ottenute empiricamente ed espresse in forma verbale. La base delle cognizioni consta di termini linguistici (funzioni di pertinenza) delle grandezze di entrata e uscita, della base di regole e di defuzzificazione [5]. Tramite la base di regole sono concatenate tra loro le grandezze di entrata raggio curvatura Δr e limite di allungamento R_p con la grandezza di uscita numero rulli n . Mediante un meccanismo di interferenza adeguato e un metodo di defuz-



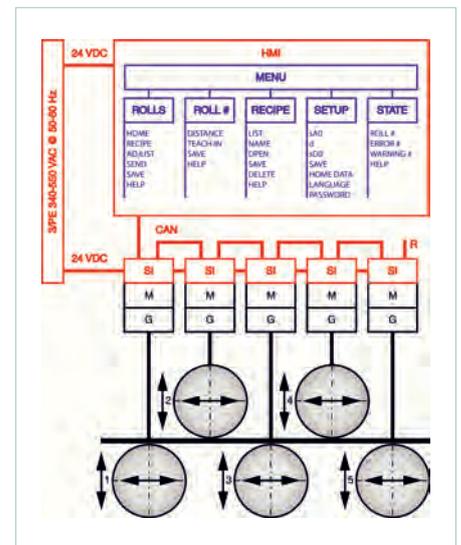
Forze di reazione F_{iR} e F_{iIt} , forza di raddrizzatura risultante F_{iRes} , suoi componenti F_{iVer} e F_{iHor} e andamento del momento flettente riferito $M^*_i=f(x)$

zificazione si perviene infine a uno specifico comportamento di trasmissione. Ciò permette in ogni tempo per un set di grandezze di entrata acute di generare una grandezza di uscita acuta. Per alcuni valori discreti delle grandezze di entrata la tabella mostra valori derivati per il numero di rulli n .

Potenza necessaria per la deformazione

Per la deformazione di un materiale mediante rulli raddrizzatori occorre

una potenza. Oltre ai parametri del raddrizzatore e del materiale essa è determinata dal modo e dalla velocità di regolazione dei rulli. La vantaggiosa regolazione individuale può avvenire tramite traslazione o una rotazione convertita in rotazione. Grande diffusione hanno le viti motrici o aste filettate che come ingranaggio con buona azione autofrenante convertono ogni volta una coppia M_{iG} in una forza di regolazione F_{iA} . I parametri di un tale ingranaggio sono il diametro fianco del filetto d_{iF} , l'angolo medio



Concetto della sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata con i sistemi parziali meccanico, elettrico e software

del passo α_{im} e l'angolo di attrito ρ'_i . Con la velocità angolare ω_{iG} o del numero di giri vite n_{iG} si ottiene la potenza minima necessaria P_i per la regolazione di un rullo i secondo l'equazione 3.

$$P_i = F_{iA} \cdot \tan(\alpha_{im} + \rho'_i) \cdot \frac{d_{iF}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot n_{iG}}{30}$$

equazione 3

La forza di regolazione F_{iA} dipende dalla deformazione del materiale nel campo d'influenza del rullo i da posizionare. Essa corrisponde alla forza di raddrizzatura $|F_{iR}|$ (equazione 4) che nel punto di contatto del materiale con il rullo è in correlazione con forze di reazione. L'esame del caso quasi-statico nel piano $x-y$ (Fig. 1) permette di trascurare

$$F_{iA} = |F_{iR}| \quad \text{equazione 4}$$

forze esterne e la forza di reazione F_{iIt} , di modo che la forza di reazione sul rullo corrisponde alla forza di raddrizzatura risultante (Fig. 2 a). Se inoltre si trascura il passo modificato da ΔT , la forza di raddrizzatura F_{iR} si forma solamente dalla componente verticale della forza di raddrizzatura risultante F_{iVer} (equazione 5, Fig. 2 b).

$$F_{iR} = |F_{iVer}| \quad \text{equazione 5}$$

Considerazioni di equilibrio, tenendo conto dei momenti flettenti sui rulli (Fig. 2 c) e dei passi, permettono il calcolo del valore della forza di raddrizzatura relativa $|F^*_{iR}|$ secondo l'equazione 6.

$$\left| \begin{matrix} F^*_{iR} \\ M^*_{(i+1)v} \end{matrix} \right| = \left| M^*_{(i-1)v} \right| + \left| 2 \cdot M^*_{iv} \right| +$$

equazione 6

L'utilizzo di grandezze relative adimensionali, contrassegnate con un asterisco, agevola il calcolo [6]. Per la forza di regolazione F_{iA} (equazione 4) risp. il valore della forza di raddrizzatura naturale $|F_{iR}|$ vale l'equazione 7.

$$|F_{iR}| = \left(\frac{Rp \cdot \pi \cdot d^3}{16 \cdot T} \right) |F^*_{iR}|$$

equazione 7

I rapporti summenzionati dimostrano che la determinazione del fabbisogno di potenza presuppone la determinazione dei momenti flettenti relativi $M^*_{(i-1)v}$, M^*_{iv} e $M^*_{(i+1)v}$. Mediante la simulazione del processo di raddrizzatura [6] è possibile determinare numericamente curve momento flettente-curvatura, calcolando iterativamente l'andamento del momento flettente $M^* = f(x)$ (Fig. 2 c) e della curvatura $\kappa^* = f(x)$ nonché la linea di flessione del materiale $y = f(x)$ tenendo conto della relativa regolazione dei rulli. Conoscendo l'andamento del momento flettente si conoscono anche i momenti flettenti relativi per la determinazione della potenza necessaria.

Concetto

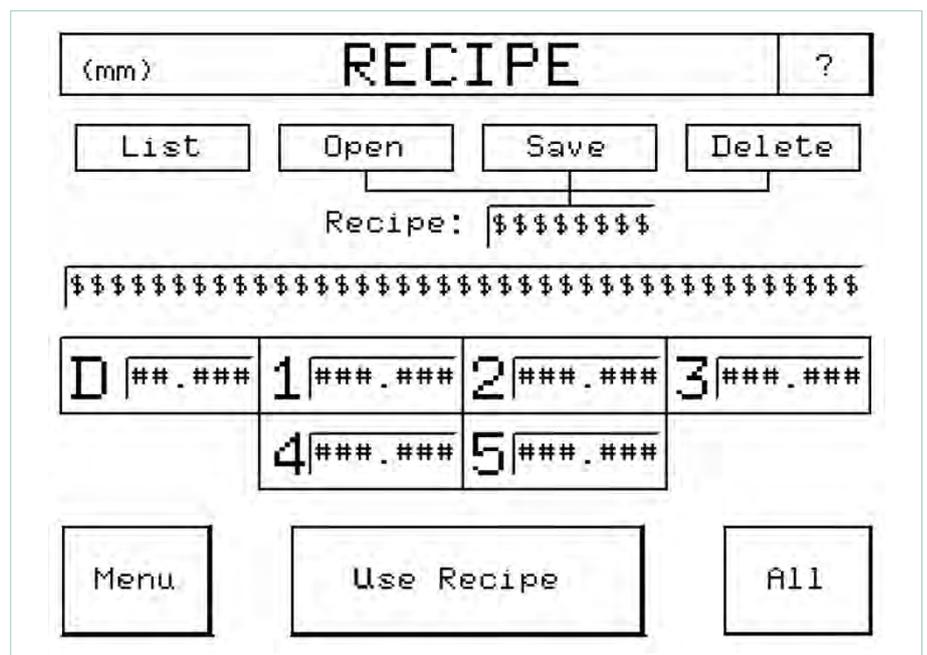
I raddrizzatori convenzionali non possiedono queste caratteristiche. La loro costruzione è statica, ossia, per esempio, l'utilizzatore non ha nessuna prospettiva di ampliare le possibilità d'impiego dei raddrizzatori per quanto riguarda la lavorazione di sezioni geometriche o di materiali alternativi. Invece di impiegare utensili semplici per la regolazione dei rulli, nel caso di sviluppati raddrizzatori parzialmente automatizzati si utilizzano attuatori. Gli attuatori consistenti di motore e ingranaggio operano insieme a componenti della tecnica di au-

tomatizzazione e programmi software che determinano e anche regolano sia le posizioni di mira dei rulli tenendo conto della qualità del prodotto finito. Il concetto dello sviluppato raddrizzatore parzialmente automatizzato consta di tre sistemi parziali. I sistemi parziali meccanico, elettrico e software (Fig. 3) sono eseguiti in modo snello, cioè il numero di componenti è ristretto in ogni caso.

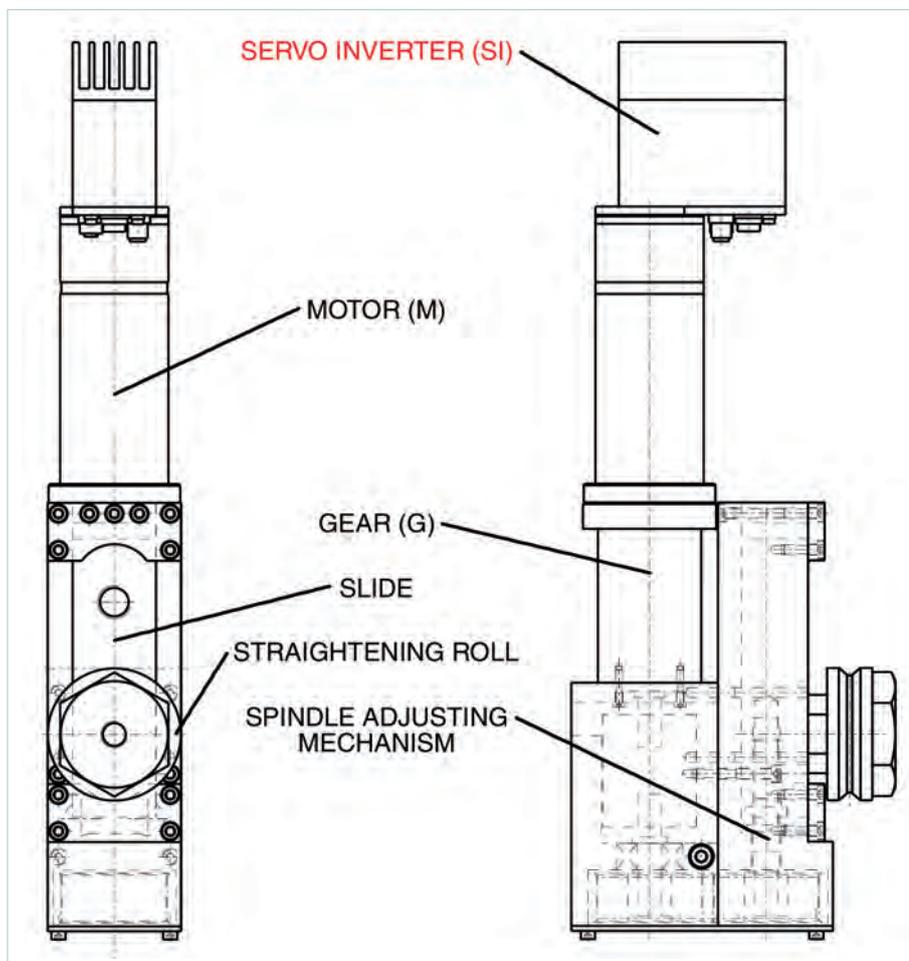
Sistema parziale Meccanica

La catena cinematica del sistema parziale Meccanica comprende il servomotore (M), il ruotismo epicicloidale (G), il meccanismo di regolazione della vite incluso il corsoio, asse del rullo e rullo raddrizzatore (Fig. 4). Rivoluzionario è che tutti gli elementi sono raggruppati in un unico modulo. La modularizzazione offre la possibilità di progettare raddrizzatori secondo le esigenze specifiche del cliente in modo rapido ed efficiente, tenendo conto delle regolarità della produzione in massa e le direttive della formazione prezzi ad essa attenenti (mass customization = mass production + customization, [7]). Così per esempio, su richiesta del cliente è possibile produrre a basso costo e a breve scadenza degli raddrizzatori con un specifico numero di rulli n o con un passo specifico T

(Fig. 1). Nella sviluppata tecnica di raddrizzate parzialmente automatizzata, il passo T è sempre ottimizzato utilizzando la simulazione del processo [6] con la finalità di sfruttare al massimo il campo di raddrizzatura (equazione 1). La qualità del prodotto finito e i parametri del materiale come richiesti dal cliente fanno parte dell'ottimizzazione del passo T . Un altro vantaggio della modularizzazione è che singoli moduli corredati di un attuttore possono essere appaiati con moduli il cui rullo non è regolabile. Questa variante, mantenendo il profilo funzionale, contribuisce alla riduzione dei costi di investimento. Alternativamente, la strategia della sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata offre all'utilizzatore la possibilità di poter produrre prodotti specifici del cliente anche in piccoli lotti e di rispondere così parimenti alle esigenze della mass customization. Ciò si riesce senza problemi se la tecnica di raddrizzate consente la regolazione di un passo T differente. L'utilizzatore può così regolare specificamente la distanza tra i rulli sul posto (Fig. 3) e aggiustarsi così alla lavorazione di specifici materiali o sezioni (filo, tubo ecc.). In questo contesto si rimanda a risultati ricavati in teoria e pratica che hanno una significativa influenza del



Lato operatore per posizionamento sincrono dei rulli



Sistema parziale Meccanica di costruzione modulare

passo T sulla qualità del prodotto finito e che appoggiano la precisione necessaria della regolazione dei rulli [8]. Tranne il motore e l'ingranaggio, gli elementi del sistema parziale meccanico sono disposti in una carcassa base di precisione separabile. Ciò permette un'alta densità di potenza. Il fabbisogno di potenza per la deformazione del materiale ossia per il posizionamento dei rulli è determinato utilizzando le regolarità rilevanti e consente nella prima forma di esecuzione una lavorazione di materiali in un vasto campo di spessori (5,0 mm a 15,0 mm). Per ottenere un'alta precisione di posizionamento c'è la possibilità di registrare il precarico del meccanismo regolatore. Il corsoio possiede due filetti interni per alloggiare almeno un asse del rullo. Gli assi e i rulli possono essere eseguiti su richiesta del cliente.

Sistema parziale elettrico

I classici sistemi di posizionamento con-

sistono in un controllo industriale, convertitori e sensori collocati in controlli superiori centrali o decentrali. Classici sono pure cablaggi per comunicazione seriale e distribuzione di energia che partono radialmente dal controllo. Tali progettazioni discrete richiedono intensi ragionamenti sul cablaggio e fatiche nel quadro della realizzazione che presto causano notevoli costi.

Per la sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata è stato realizzato un alternativo sistema parziale elettrico che consta solamente di servoconvertitori e di un HMI (human machine interface) con schermo tattile. A ogni modulo (Fig. 4) è assegnato un servoconvertitore che comunica con il HMI superiore tramite il bus di dati CAN, la comunicazione svolgentsi interamente in modo lineare invece di radiale (Fig. 3). Quale variante si può operare un modulo compound che consta di 32 moduli singoli al massimo. La gestione dell'energia è tale che i rulli di

tutti e 32 moduli possono essere posizionati sincronamente.

La modulizzazione e la topologia permettono di realizzare un vero plug & play. Lo scambio di un attuatore compreso il servoconvertitore è possibile senza nuova messa in funzione giacché tutte le regolazioni di comunicazione e inizializzazioni dei nuovi componenti sono state preimpostate in fabbrica. Nella sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata si è fatto a meno di iniziatori o sensori per la detezione di posizioni finali o per il riferimento (homing) poiché le routine del sistema parziale del software si incaricano di questi impegni in modo sicuro. Anche il controllore superiore non necessario per esempio in forma di un controllore a logica programmabile SPS o di un computer contribuiscono alla minimizzazione del numero di componenti. La HMI incluso il software agiscono alternativamente.

Sistema parziale Software

Il software implementato sulla HMI determina la comunicazione con il convertitore di un modulo o con i servoconvertitori nell'utilizzo di vari moduli. Il software rappresenta tutte le routine importanti per la sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata (Fig. 3). A mo' d'esempio, la Fig. 5 documenta il lato operatore di una routine per il posizionamento sincrono di rulli raddrizzatori (RECIPE) che impiega cosiddetti set di dati regolazione oppure ricette. Essi contengono per ogni modulo il valore di posizionamento da impostare e il diametro filo. I set di dati possono in ogni tempo essere selezionati, generati, editati o cancellati dall'utilizzatore direttamente sulla HMI. Una volta selezionato un set di dati, nel passo seguente avviene la trasmissione ai convertitori delle regolazioni memorizzate nel set di dati. Così per esempio in un batter d'occhio per un diametro filo specifico si imposta la linea zero, si realizza una apertura rapida o si salva una regolazione di base per un materiale specifico. La regolazione per la produzione di materiale diritto si determina prima dell'inizio del processo tramite il

software SimDATA [9] basata sulla simulazione del processo di raddrizzatura [6]. Quale semplice programma, SimDATA utilizza librerie apparsi in codice binario che contengono i parametri delle posizioni di rulli per la produzione di una definita qualità del prodotto finito. Il software SimDATA adempie un'altra premessa del moderno processo di produzione giacché i dati di regolazione della sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata sono disponibili prima dell'avvio del processo.

Riassunto

Basandosi sul principio di funzionamento e sui parametri principali del processo di raddrizzatura viene determinata la potenza necessaria per la deformazione del materiale. La determinazione della potenza necessaria è appoggiata da un programma di simulazione che rappresenta il processo di raddrizzatura a rulli virtualmente. La base della simulazione è un modello

teorico della deformazione alternante elastico-plastica di un materiale nonché il rapporto tra momento flettente e curvatura per operazioni di piegatura.

Suddiviso nei sistemi parziali meccanico, elettrico e software si spiega il concetto di una nuova tecnica di raddrizzatura che consente di realizzare processi di raddrizzatura che possiedono le caratteristiche di moderni processi di produzione. I criteri di questa sviluppata tecnica di raddrizzatura parzialmente automatizzata sono la costruzione modulare, la minimizzazione del numero di componenti, una interfaccia utilizzatore di semplice manovra nonché la disponibilità di dati di processo e regolazione già prima dell'avvio del processo. Grazie alla flessibilità nella configurazione dei parametri principali come numero di rulli e passo rulli è possibile produrre specifici prodotti del cliente anche in piccoli lotti e a bassi costi.

Bibliografia

[1] Schneidereit, H.; Schilling, M.: Richtapparat mit elektronischer Positioniersteuerung.

Draht, 48 (1997) 2, S. 18-19

[2] Hübner, R.-T.: Moderne Richtmaschinen. Draht, 50 (1999) 5, S. 26-27

[3] Linneweh, K.: Mut zur Muße – Innovation als persönliche Herausforderung. www.linneweh.com, Vortrag vor der TÜV Rheinland Group, (2005)

[4] Paech, M.: Rollenrichtprozeß und Peripherie. Draht, 52 (2001) 3, S. 47-50

[5] Kahlert, J.: Fuzzy Control für Ingenieure. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, (1995)

[6] Guericke, W.; Paech, M.; Albert, E.: Simulation des Richtens von Draht. Draht, 47 (1996) 1/2, S. 23-29

[7] Pine II, J. B.: Mass Customization: The New Frontier in Business Competition. Boston, Harvard Business School Press (1993)

[8] Paech, M.: Maßgeschneiderte Richtapparate. Draht, 53 (2002) 4, S. 18-20

[9] Paech, M.: Positionierung von Richtrollen. Draht, 52 (2002) 2, S. 41-42

L'autore di questo articolo, l'Ing. Marcus Paech è Direttore Tecnico della Witels-Albert GmbH.

Witels-Albert GmbH

Malteserstraße 151-159

D-12277 Berlin

Germania

Tel.: +49 30 723 988 0

Fax: +49 30 723 988 88

E-Mail: info@witels-albert.com

Internet: <http://www.witels-albert.com>