



Ejemplo de una aplicación de la técnica de enderezado semi-automático, CS Easy 5-15.0 LE
Foto: Witel-Albert GmbH

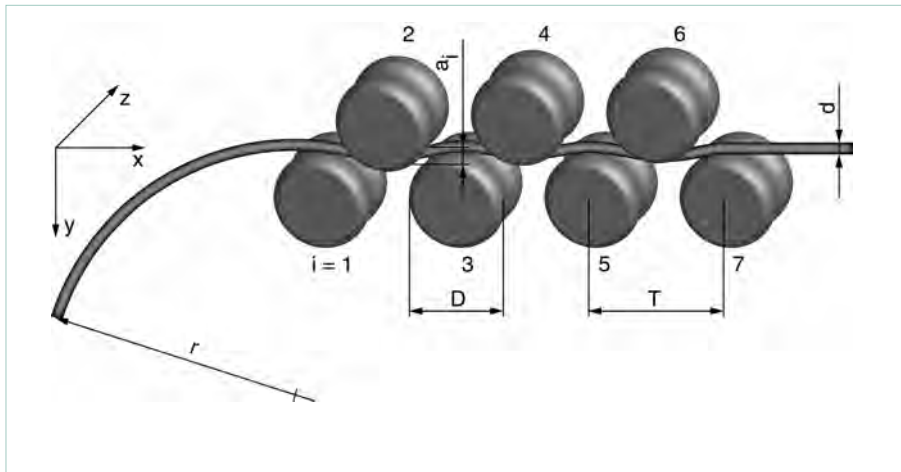
Enderezado semi-automático

Motivos: La perspectiva global señala para las empresas en competencia márgenes de acción similares y con variables idénticas cuyos valores, sin embargo, pueden variar localmente. Citemos como ejemplo los costes del trabajo, de la energía y de las materias primas.

Si estudiamos la cadena de los procesos en la industria del alambre, veremos que el proceso de enderezado mediante rodillos es uno de los más importantes en la producción. Tanto al fabricar como al transformar alambre, el proceso de enderezado establece los valores de las variables técnicas y comerciales que deciden el éxito o el fracaso económico. Si, por

ejemplo, no se consiguen las condiciones geométricas de suministro que prescribe la norma EN 10218-2, es seguro que no habrá éxito financiero. Hay que añadir que, además de las condiciones de suministro geométricas, frecuentemente otras informaciones y propiedades reclaman mucha atención y son de gran importancia para el proceso de elaboración y

transformación que sigue al enderezado. Por estas circunstancias, el proceso de enderezado ha de convertirse también en un proceso de fabricación que permita identificar las propiedades del material de trabajo en todo su largo y que, al mismo tiempo, esté en condiciones de ajustar de manera constante las características determinadas del material.



Esquema del proceso de enderezado con rodillos de parámetro con base determinada

Valores determinados con la lógica Fuzzy para el número de rodillos n

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

Si se analizan soluciones insulares en la práctica [1, 2] llama también la atención que, de las características antes mencionadas, solamente se ha conseguido la seguridad de los datos de ajuste. Las restantes características no se aprovechan en la práctica en relación con la técnica de enderezado semi-automático. Se teme la innovación, que viene a ser creatividad convertida en realidad [3], a pesar de que amenazan desventajas en la competitividad. Hay un déficit de innovación porque los responsables quieren evitar las inversiones que creen altas.

El proceso de enderezado por rodillos

La necesidad del enderezado se deriva primeramente de la intención de modificar o de eliminar curvaturas en el material a procesar que se indujeron por procesos térmicos o mecánicos de manera voluntaria o involuntaria. En segundo término, el proceso de enderezado influye en los datos mecánicos del material de trabajo.

El enderezador dispone de rodillos de enderezado dispuestos en dos filas de manera alternada. Según sea la posición a_i de los rodillos ajustables, el material durante su paso por el enderezador sufre las deformaciones elástico-plásticas que dan base a la modificación de los valores geométricos y mecánicos del material procesado. La segunda imagen documenta algunos valores del material y del enderezador

para enderezar un alambre de diámetro d . Cada dispositivo enderezador dispone de una gama de enderezado específica que queda fijada por la separación T (separación entre rodillos) y por el diámetro de los rodillos D . Por adaptación a dichos datos, la gama de enderezado Δ tiene un límite permisible para las dimensiones de la sección máxima y mínima del material que ha de enderezarse. Para alambres redondos son importantes los diámetros mínimos d_{\min} y máximo d_{\max} .

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

El número n de rodillos de enderezado necesarios varía en dependencia del límite elástico R_p y del radio de curvatura Δr en el que se incluyen los radios máximo (r_{\max}) y mínimo (r_{\min}).

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

Como regla básica se considera que con un mayor límite elástico y mayor gama de radio de curvatura se necesita un mayor número de rodillos para conseguir una alta calidad del producto acabado.

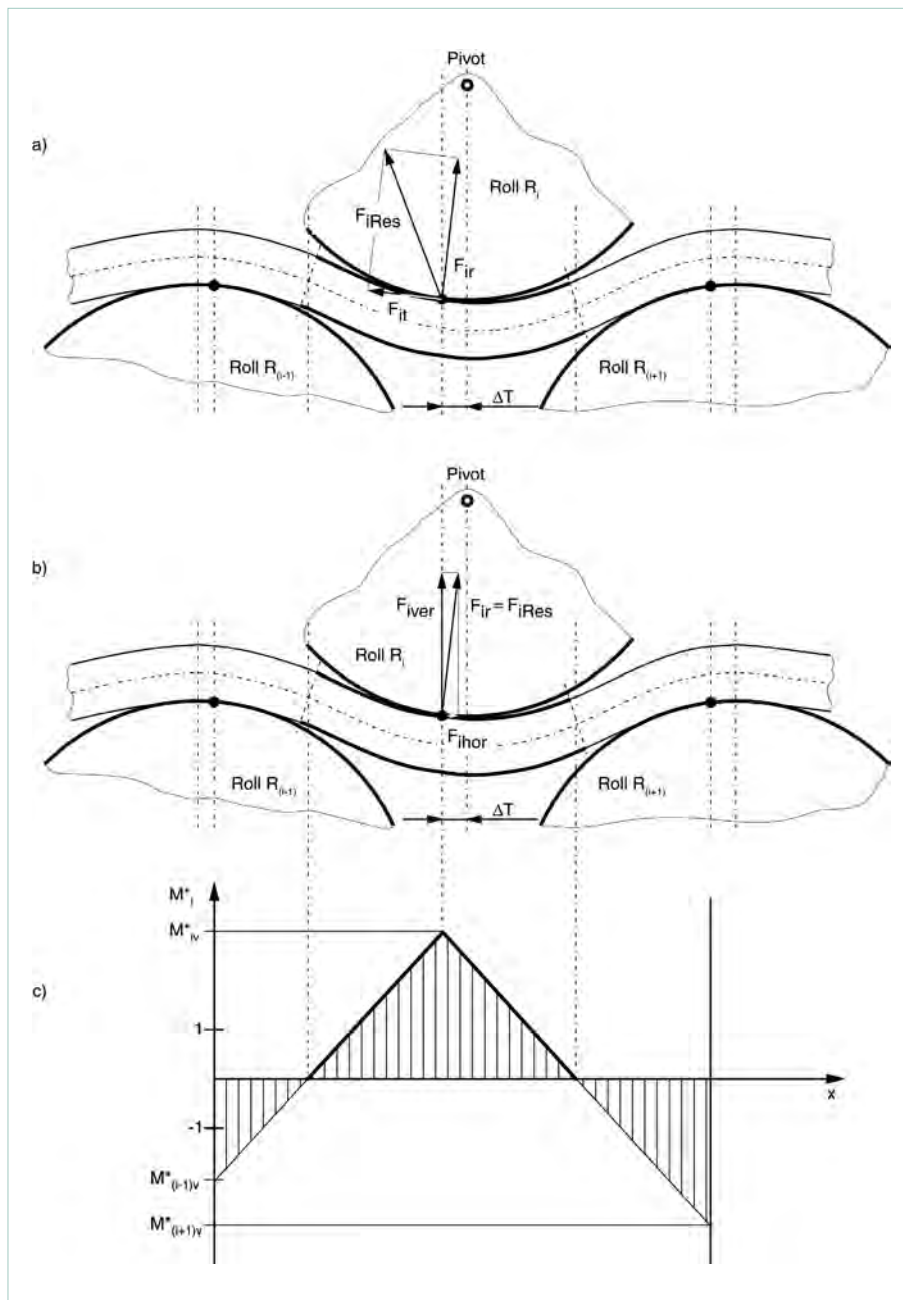
El número de rodillos n se determina sirviéndose de la lógica fuzzy. En un sistema fuzzy se integran conocimientos teóricos, entre otros, ganados empíricamente y formulados verbal-

mente. La base de los conocimientos se compone de términos lingüísticos (funciones de pertinencia) de las magnitudes de entrada y salida, de la base de regulación y del mecanismo de interferencia y de defuzzyficación [5]. Mediante la base de regulación están interconectadas la magnitud de entrada gama del radio de curvatura Δr y el límite elástico R_p con la magnitud de salida número n de rodillos.

Basándose en un mecanismo de inferencia apropiado y en un método específico de defuzzyficación se consigue finalmente un comportamiento específico de transmisión. Así puede generarse en cualquier momento para un grupo de magnitudes de entrada «agudas» una magnitud «aguda» de salida. La tabla muestra, para algunos valores discretos de las magnitudes de entrada, los valores deducidos correspondientes para el número de rodillos n .

Potencia necesaria para la conformación

Para conformar un material mediante rodillos se necesita una determinada potencia. Además de los valores del enderezado y del material a procesar, la potencia depende del modo de regular los rodillos y de la velocidad con que se haga. La forma ventajosa de un ajuste individual puede ser por translación o por una rotación en for-



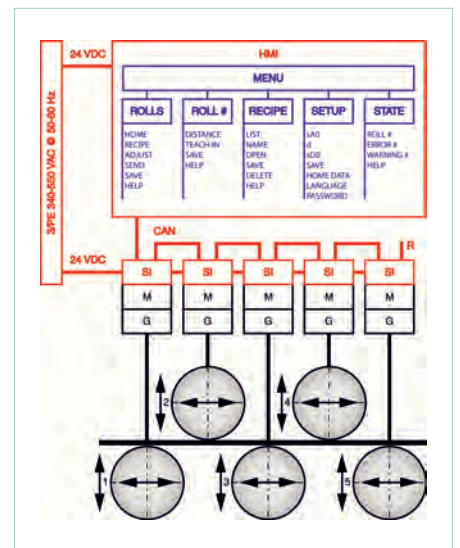
Fuerzas de reacción F_{iR} y F_{iR} , resultante de enderezado F_{iRes} , sus componentes F_{iver} y F_{ior} y evolución del momento de flexión referido $M^*_{i=f(x)}$

ma de translación. Con frecuencia se ven los llamados tornillos de movimiento o mecanismos de cabezal que en forma de engranaje con buena auto-retención transforman un momento par M_{iG} en una fuerza de incidencia F_{iA} . Valores característicos de un tal engranaje son el diámetro del flanco de rosca d_{iF} , el ángulo medio de paso α_{im} y el ángulo de fricción ρ'_i . Con la velocidad angular ω_{iG} y el número de revoluciones del cabezal n_{iG} se obtiene, mediante la ecuación 3, la poten-

cia mínima P_i necesaria para ajustar un rodillo i

$$P_i = F_{iA} \cdot \tan(\alpha_{im} + \rho'_i) \cdot \frac{d_{iF}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot n_{iG}}{30} \quad \text{Ecuación 3}$$

La fuerza F_{iA} depende de la conformación del material procesado en la zona de influencia del rodillo i que ha de posicionarse y corresponde a la cuantía de la fuerza de enderezado $|F_{iR}|$ (ecuación 4) que está en correla-



Esquema de la técnica de enderezado semi-automático con los sistemas parciales de mecánica, electricidad y programa electrónico

ción con las fuerzas reactivas en el punto de contacto del material procesado con el rodillo.

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

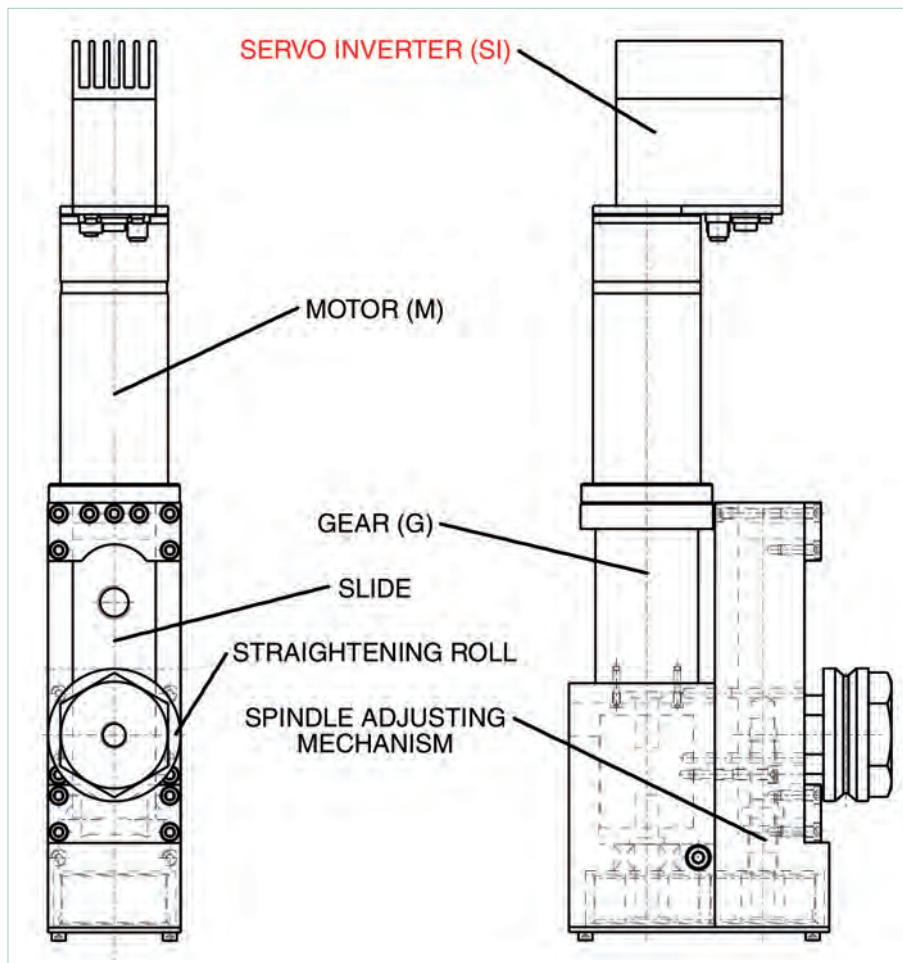
Observando el caso casi-estático en el plano x-y nos permitimos despreciar las fuerzas externas y la fuerza tangencial de reacción F_{it} , de manera que la fuerza de reacción radial en el rodillo corresponde a la fuerza de enderezado resultante (fig. 3 a). Si además no se considera la separación que se ha modificado en ΔT , entonces la fuerza de enderezado F_{iR} solamente representa la componente vertical de la fuerza de enderezado resultante $F_{i_{ver}}$ (ecuación 5, fig. 3 b).

$$F_{iR} = |F_{iver}| \quad \text{Ecuación 5}$$

Consideraciones del equilibrio, teniendo en cuenta los momentos de flexión en los rodillos (fig. 3 c), y las separaciones nos llevan a calcular la fuerza de enderezado $|F_{iR}|$ según la ecuación 6.

$$|F_{iR}| = |M^*_{(i-1)v}| + |2 \cdot M^*_{iv}| + |M^*_{(i+1)v}| \quad \text{Ecuación 6}$$

El uso de magnitudes relativas y sin dimensión, que marcamos con un as-



Sistema mecánico en estructura modular

consigue una gran densidad de potencia. La necesidad de potencia para la conformación del material y el posicionamiento de los rodillos está calculada aprovechando las reglas importantes en el caso y permite trabajar, en el primer modelo, una gran gama de espesores (entre 5,0 mm y 15,0 mm).

Con objeto de conseguir una gran exactitud al posicionar, se ofrece la posibilidad de regular la tensión previa del mecanismo de ajuste del cabezal. La corredera tiene dos taladros roscados para emplazar por lo menos un eje de rodillo. Los ejes de rodillo y los rodillos pueden diseñarse según desee el cliente.

Sistema parcial eléctrico

Los sistemas de posicionamiento clásicos tienen un mando industrial, convertidores y sensores integrados en mandos preconectados centrales o descentrales. También son clásicos los cableados para comunicación serial y

distribución de energía que parten en estrella desde el mando. Estos diseños discretos exigen intensos planeamientos del cableado y esfuerzos en la realización, lo que rápidamente se transforma en costes importantes.

Para la técnica de enderezado semi-automático se ha realizado un sistema parcial eléctrico alternativo que consiste simplemente de servoconvertidores y de una HMI (human machine interface) en forma de pantalla táctil. A cada módulo corresponde un servoconvertidor que se comunica con la HMI preconectada a través de un bus de datos CAN, siendo la comunicación lineal y no en estrella. Como variante puede trabajarse con un complejo de módulos consistente en un máximo de 32 módulos individuales. La energía está organizada de tal forma que los rodillos de los 32 módulos pueden posicionarse de manera sincrónica.

La estructura modular y la topología permiten realizar un plug & play real.

Por eso es posible cambiar un mecanismo, incluyendo el servoconvertidor, sin trabajo adicional de puesta en marcha, dado que todos los ajustes de la comunicación e inicializaciones de los nuevos componentes están hechos ya en fábrica.

La técnica de enderezado semi-automático prescinde de iniciadores y de sensores para detectar las posiciones finales o para la referenciación («homming»), ya que las rutinas inteligentes del sistema parcial del programa se encargan de manera fiable de ese cometido. El no necesitar un mando preferente, por ejemplo en forma de un SPS o de un ordenador, contribuye a reducir el número de componentes. La HMI, programa y servoconvertidor inclusivos, actúa de manera alternativa.

Sistema parcial programa electrónico

El programa electrónico implementado en la HMI rige la comunicación con el convertidor de un módulo y con los servoconvertidores, si se utilizan varios servoconvertidores. El programa electrónico reproduce todas las rutinas que son de importancia para la técnica de enderezado semi-automático. Como ejemplo se documenta en la figura la presentación del mando de una rutina para el posicionamiento sincronizado de rodillos (RECIPÉ) que emplea los llamados bloques de datos de ajuste o recetas. Allí se encuentran para cada módulo los valores de posicionamiento para ajustar y el diámetro del alambre. El usuario puede en cualquier momento seleccionar directamente en la HMI los bloques de datos, crearlos, editarlos o borrarlos. Una vez seleccionado un bloque de datos, el paso siguiente es enviar al convertidor los ajustes almacenados en él. Así, por ejemplo, puede ajustarse en un momento la línea cero para un diámetro específico, ejecutar una apertura rápida o asegurar un ajuste básico para un material específico. El ajuste de los rodillos para producir material recto se calcula mediante el programa SimDATA [9] que se basa en el proceso de enderezado [6]. En cuanto programa sencillo, SimDATA se sirve de bibliotecas de aparatos de código binario que contienen la información

sobre la posición de los rodillos para fabricar una calidad de producto definida. Disponer del programa SimDA TA significa otra condición más del proceso de fabricación avanzado, dado que se tienen datos de ajuste de la técnica de enderezado semi-automático ya antes de iniciar el proceso.

Resumen

Se determina la necesidad de potencia para la conformación del material partiendo del principio efectivo y de las magnitudes características principales para el proceso de enderezado. El cálculo de la necesidad de potencia se facilita con un programa de simulación que reproduce virtualmente el proceso de enderezado. La base de la simulación es un modelo teórico de la conformación elástico-plástica alterna de un material a procesar y de la relación entre el momento de flexión y de la curvatura en las operaciones de flexión. Se comenta el concepto de una nueva técnica de endereza-

do semi-automático subdividida en sistemas parciales de mecánica, electricidad y programa electrónico con los que es posible realizar procesos de enderezado que tienen las características de un proceso de fabricación avanzado. Características de esa técnica de enderezado semi-automático son: la estructura modular, la reducción del número de componentes, una interfase sencilla de manejar para el usuario y la posibilidad de disponer de los datos del proceso y del ajuste ya antes de iniciar el proceso.

Gracias a la flexibilidad al diseñar y al ajustar las magnitudes características principales, tales como número de rodillos y separación de los rodillos, resulta posible fabricar económicamente productos especiales para un cliente y en cantidades reducidas.

Bibliografía

- [1] Schneiderei, 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

El Dipl.-Ing. Marcus Paech, autor del presente artículo, es Director técnico de Witels-Albert GmbH.

Witels-Albert GmbH

Maltesserstraße 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>