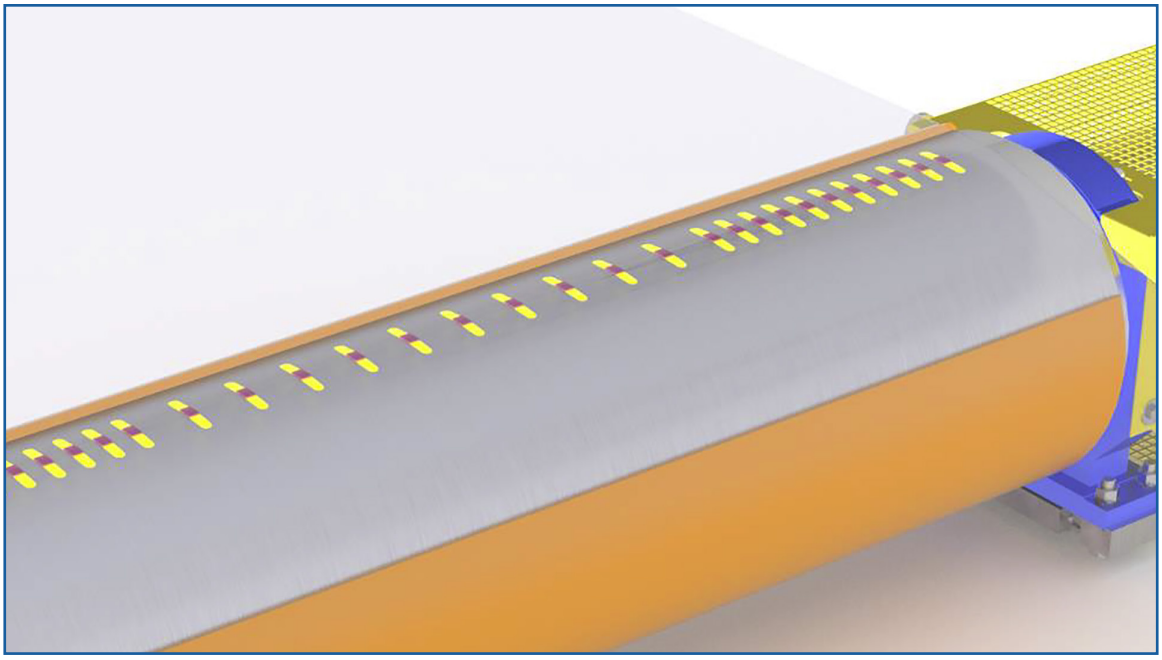


Figura 1: Rolo de medição da forma BWG

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

Autor
DR. CHRISTOPH MOOS
Is R&D engineer at BWG Bergwerk- und Walzwerk-Maschinenbau GmbH - Duisburg, Germany.

Tradução
KURT OTTO KUNZE
karlheinz.naumann@bwg-online.com.br

www.bwg-online.com/br

Uma característica inerente a muitos processos durante a produção de partes laminadas planas metálicas é a formação de tensões internas de diversos tipos no produto semiacabado, que podem causar um comportamento não desejado nos processos que seguem. Associado ao conceito das tensões internas está o conceito de forma e planicidade. Caso a magnitude das tensões internas ultrapassar um certo limite, aparecem abaulamentos ou desvios laterais da fita, causando desvio da forma perfeitamente plana. Isto pode ocorrer fora da linha em chapas cortadas no comprimento ou em linha quando a tensão da fita não é suficientemente grande para compensar as tensões

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

locais internas, deixando as tensões longitudinais de compressão acima do limite crítico. Problemas podem ocorrer próximo ao fim da cadeia de produção, i.e. na prensagem profunda para a produção de partes de carrocerias de carros para a indústria automotiva. Ou mais "acima" em "processos anteriores", por exemplo ao manusear a fita na alimentação no lado de entrada de uma linha de processamento de fita ou mesmo na seção do processo em si, ou nas linhas de refile, etc. Finalmente, em certos passos do processo, a forma é também uma maneira apropriada para indiretamente julgar a qualidade do processo, i.e, durante a laminação do skin pass de fitas de alumínio ou aço, devido à distribuição das tensões inerentes na fita após o laminador de skin pass estar ligado à distribuição da força de laminação na direção transversal da abertura dos rolos, o que por sua vez, afeta a uniformidade da estrutura da superfície a ser transferida dos rolos de trabalho à fita. Isso torna as medições e, se necessário, a introdução de ações contrárias para evitar tensões inerentes indesejadas, hoje em dia indispensáveis e recorrentes componentes em toda a cadeia do processo.

A BWG Bergwerk- und Walzwerk-Maschinenbau GmbH em Duisburg é conhecida em nível mundial como um fornecedor de maquinaria e equipamento inovativos de alta qualidade para a indústria metalúrgica. O escopo de fornecimentos da BWG, inclui, p.ex., linhas de aplainamento por tensão e estiramento, linhas de tratamento térmico, de pintura de fitas de alumínio automotivo, e laminadores de skin pass para alumínio, aço e aço inoxidável. O portfólio da empresa tem sempre incorporado um grande número de novos desenvolvimentos patenteados para otimizar especificamente passos individuais do processo. Seguindo essa tradição, o escopo de produtos foi agora suplementado por mais um novo desenvolvimento, adicionando o rolo de medição da forma BWG de alta precisão, fabricado especificamente para as necessidades do cliente.

A literatura especializada tem descrito e definido os defeitos recorrentes da forma nas fitas de metal em detalhe [1, 2]. Os fenômenos típicos são subdivididos em tipos de defeitos "*unwindable*" e "não *unwindable*", Os defeitos de forma *unwindable* são aqueles que podem ser eliminados por dobra plástica sem imposição de tensões sobrepostas. Estas incluem Coilset (vetor de curvatura transversal ao eixo longitudinal da fita) e Crossbow (vetor de curvatura na direção do eixo longitudinal da fita). Defeitos de forma não unwindable são causados por alongamentos plásticos variando através da largura da fita. Essas tensões internas se originam de diversas situações, incluindo uma falta de ajuste (mismatch) da geometria da abertura entre os rolos e o perfil da espessura transversal da seção na laminação a frio ou deslizamento nas bobinas ao bobinar, entre outros. Os diferentes alongamentos são compensados por tensões inerentes (por meio da lei de Hooke). Uma tensão de fita é sobreposta à distribuição das tensões inerentes, mas se a tensão da fita é baixa ou está ausente, o resultado são tensões de compressão locais na fita. Se as tensões de compressão excedem um valor crítico, ocorre a ondulação (buckling) e se formam ondas ("defeitos de forma se manifestam").Se a tensão critica não é ultrapassada, não se formam ondas e os defeitos não são oticamente visíveis. ("defeitos de forma latentes"). Este comportamento físico bem

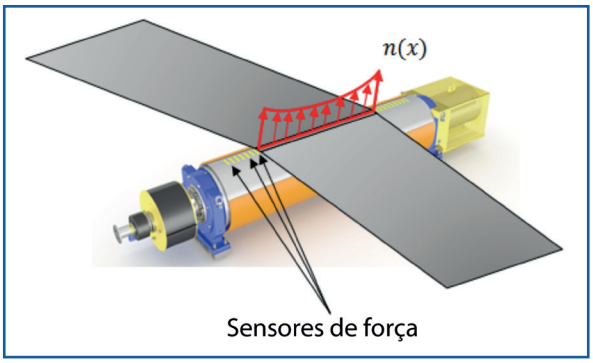


Figura 2: Representação esquemática do princípio da medição

conhecido restringe severamente a possibilidade de uso de certos tipos de sistemas de medição da forma: todas as medições sem contato baseadas em campos óticos ou eletromagnéticos, somente podem detectar defeitos da forma, se as condições físicas permitem ondulações e a formação de ondas nas fitas. Dependendo da rigidez da seção transversal da chapa, podem estar presentes consideráveis tensões internas sem manifestar nenhum desvio de forma [2] e estes sistemas não são capazes de reconhecê-las.

Um princípio de medição de ampla aplicação que evita essa limitação, é a deflexão da fita envolta de um rolo de medição da forma, no qual sensores de força são incorporados com a finalidade de medir a força radial de contato entre a fita e o rolo. À medida que a fita passa sobre o rolo de medição, a distribuição da tensão não constante da fita, resultante dos defeitos da forma "não unwindable", causa uma distribuição não constante da força de contato do rolo de medição, que deve ser detectada por meio dos sensores de força instalados no rolo de medição. A Figura 2 mostra o princípio de medição de maneira esquematizada. Defeitos da forma não "unwindable" em geral não podem ser detectados com esse princípio.

O desenvolvimento de um rolo de medição de forma que resolva essa tarefa, foi a meta imposta a si mesma pela própria BWG. Os requisitos concretos para o sistema a ser desenvolvido foram os seguintes:

1. O sistema deveria ser capaz de detectar diferenças locais em alongamentos de fibra de 10 µm/m, correspondendo a uma I-Unit (unidade-I) (veja definição abaixo), mesmo em fitas finas (0,25 mm)
2. Uma medida confiável do perfil da tensão inerente deveria estar disponível após somente uma volta do rolo de medição da forma
3. A detecção do perfil da tensão inerente deveria ser independente de variação da tensão total da fita dependente do tempo

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

4. Gradientes fortes no perfil de tensão da fita (muitas vezes encontrados perto dos lados da fita) também devem ser detectados
5. O projeto naturalmente deve ser apropriado para uso industrial (robusto e de baixo custo de manutenção)
6. O rolo de medição da forma deve ser aplicável ao monitoramento da qualidade relacionada ao comprimento e deve ser possível fazer login in de linhas de processamento de fitas. Este último item, naturalmente, está conectado ao cumprimento dos primeiros cinco itens.

Precisão da medida: Defeitos de forma da fita são em geral quantificados em unidades I [IU]. Há diferentes definições em uso: a primeira se refere aos erros da forma ótica correlacionando a altura e comprimento da onda na fita ondulada, o assim chamado "índice de planicidade" [1]:

$$I_E = \left(\frac{\pi f_i}{2\lambda_i}\right)^2 . \qquad (1)$$

onde f_i indica a amplitude e λ_i o comprimento de onda sinusoidal presumida. O índice i refere-se a uma imaginada repartição da fita em fibras longitudinais com largura finita. A ondulação (waviness) W às vezes usada está associada ao índice de planicidade:

$$W = \frac{f_i}{\lambda_i} = \frac{2}{\pi}\sqrt{I_E}. \qquad (2)$$

Outra definição refere-se diretamente às diferenças de comprimento de fibras através da largura da fita. A diferença de comprimento Δl_i de uma fibra local é colocada em relação com o comprimento de referência l_"Ref" da fita que está sendo examinada

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

$$I_P = \frac{\Delta l_i}{l_{\text{Ref}}} 10^5 = 10^5 \Delta\epsilon = \frac{\Delta\sigma}{E} 10^5, \qquad (3)$$

com o Módulo de Young E do material da fita, a máxima diferença de [alongamento] [strain]. Δϵ=ϵ_i-ϵ_"av" e a máxima diferença de tensão [stress] Δσ=σ_i-σ_"av" dos valores médios, respectivamente. As tensões [stresses] e os alongamentos [strains] são ligados pela lei de Hooke, A equação (3) define o "índice de desvio de forma" [1]. Uma definição alternativa é dada em [3]: é feita uma distinção entre unidades-I diretas e indiretas. A definição das unidades-I diretas é a mesma que para o índice de planicidade, equação (1). As unidades-I indiretas são definidas como

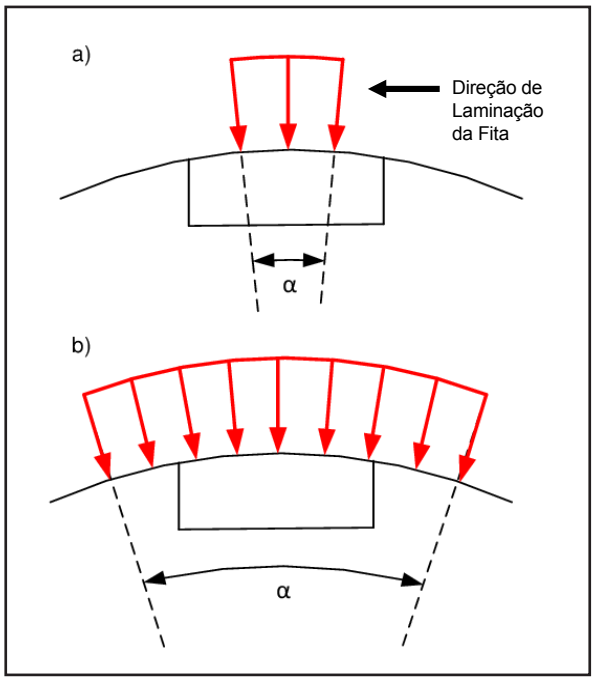


Figura 3: Força de contato entre a fita e o rolo com diferentes ângulos de envolvimento .
a) Zona de contato menor que zona de medição
b) Zona de contato mais longa que zona de medição.

$$I_{\text{Indirect}} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{E} 10^5, \qquad (4)$$

Está claro que unidades indiretas-I (ou índice de planicidade) e unidades diretas-I (ou índice de desvio da forma) usualmente não produzem o mesmo valor numérico para uma amostra específica, especialmente quando a tensão crítica de ondulação não é ultrapassada dentro da fita, porque neste caso estão presentes diferenças internas de tensão índice indireto de desvio de unidades-I/da forma não zero) (non-zero indirect I-Units/shape deviation index), mas ondas não aparecem (índice direto de desvio de unidade-I/da planicidade zero) (zero direct I-Unit/flatness index).

Veja [3] para maiores análises deste tópico. Quanto maior a espessura e rígido o material, tanto maior pode ser a diferença entre os dois valores. Um rolo medidor da forma sempre mede o índice de desvio da forma de acordo com a equação (3) e, portanto, é obvio que a habilidade central que um rolo de medição da forma deve ter é detectar pequenas diferenças Δσ entre diferentes pontos de medição. A correlação de ambos os índices tem sido estudada pelo mérito do Método dos Elementos Finitos (FEM) em [3]. Foram avaliados cálculos para diferentes situações (espessuras, propriedades do material, relações de largura para comprimento de fitas, tipos de perfis de tensão inerentes). Estes cálculos são por demais recurso intensivos para serem executados em linha em combinação com um sistema de rolo de medição da forma. No entanto, para cada cenário de aplicação, pode ser formulado e calibrado um modelo adaptado empírico mais simples com o modelo FEM, desta forma provendo uma estimativa efetiva sobre o índice de planicidade baseado em unidades-I indiretas ou no índice de desvio da forma medidos, respectivamente.

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

A precisão que um determinado sistema pode alcançar ao medir o índice de desvio da forma depende do material, porque uma unidade-I sempre se refere à mesma diferença de alongamento (10 µm/m) e, desta forma, diferenças de tensão diferentes para materiais com diferente Módulo de Young. O perfil de tensão é medido indiretamente por meio da força de contato entre a fita e o rolo. Numa primeira aproximação, a força medida que age sobre um sensor depende da força de tensionamento na parte da fita que está sobre o sensor:

$$F_{\text{meas}} = 2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sigma \cdot b_{\text{sensor}} \cdot h. \qquad (5)$$

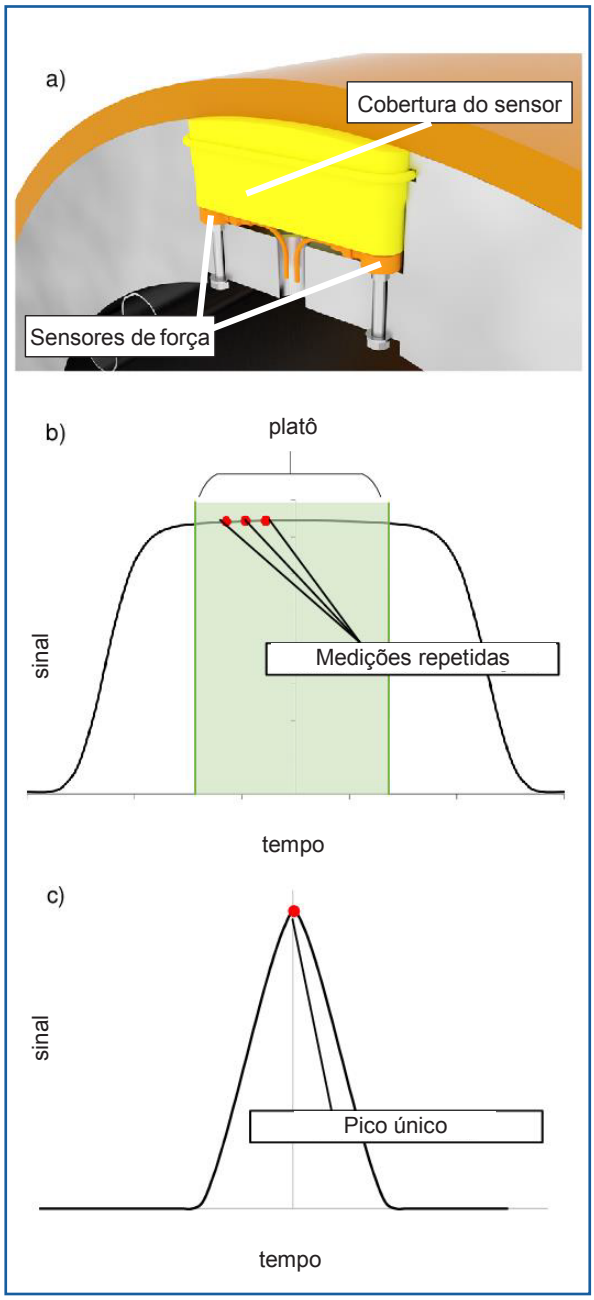
Onde α é o ângulo de envolvimento da fita ao redor do rolo de medição da forma, b_sensor é a largura relacionada com o projeto da zona de medição, h é a espessura da fita e σ a tensão média da fita sobre a zona de medição. Esta aproximação é somente parcialmente verdadeira, e geralmente não é suficiente para rolos de medição da forma, como será explicado mais adiante. Mas é suficientemente exata para analisar a dependência da precisão da medição dos diferentes parâmetros. Conforme pode ser visto na equação (5), a resolução requerida da força de medição não só depende da mínima grandeza de Δσ ainda a ser medida com precisão, mas também de três outros parâmetros, dois dos quais (ângulo de envolvimento da fita α, largura do medidor b_"Sensor") são determinados pelo projeto mecânico do sistema e o terceiro (a espessura h da fita) determinado pela amplitude de produtos do sistema.

São usados sensores de força piezoelétricos, que, para um rolo de medição da forma, têm diversas propriedades vantajosas em comparação com os medidores resistivos de alongamento. Eles permitem a medição de grandes forças, mesmo exibindo somente deslocamentos muito pequenos, e possuem constante precisão de medição num amplo campo de medição. O segundo ponto denota que o valor absoluto da força medida desempenha um papel de uma importância menor para determinar a resolução e precisão. Assim a fita mais fina na mistura de produtos torna-se crítica para avaliar a precisão que pode ser alcançada, porque para um σ dado a força resultante sobre o sensor se torna menor para o menor h, e igualmente as diferenças de força correspondentes para uma dada diferença de tensão Δσ.

O parâmetro b_"sensor" influencia a qualidade da medição de duas formas opostas: quanto maior fica, maior a força resultante por 1 MPa de tensão de fita agindo sobre o sensor, mas tanto maior fica a área pela qual é calculada a média da tensão local da fita. O perfil da tensão da fita realmente existente é distorcido numa extensão maior com largas zonas de medição, o que não é desejável especialmente na região das bordas da fita. A largura mínima das zonas de medição, por outro lado, depende do tamanho dos sensores escolhidos.

Com um aumento do ângulo de envolvimento α, a diferença de força medida por 1 unidade-I também aumenta, mas isto não pode continuar arbitrariamente, como mostra a Figura 3. Caso o ângulo de envolvimento é tão grande que todo o ponto de medição é coberto na direção do movimento da fita, somente uma fração de toda a força de contato que pertence à zona de medição age sobre o sensor. Numa primeira aproximação (de acordo com a teoria de Euler-Eytelwein), a força local de contato por área de superfície não muda com o aumento do ângulo de envolvimento e desta forma a força resultante sobre o sensor não pode ser aumentada ainda mais.

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG



São usados Figura 4: Projeto patenteado do rolo de medição da forma BWG a) Vista 3D do ponto de medição b) Sinal dependente do tempo durante o qual o ponto de medição está em contato com a fita. c) Para comparação: sinal dependente do tempo de uma cobertura circular do sensor

Em adição a estes parâmetros, há outros aspectos menores a serem considerados, quando é projetado um único ponto de medição. A investigação intensiva das interações destes parâmetros e a forma de sinal esperado orientou um novo projeto dos pontos de medição para o rolo de medição da forma BWG (veja Figura 4).

Dois elementos piezo são instalados por zona e selados com uma cobertura em formato de chaveta (*feather-key*) (veja Figura 4a). A força necessária para montagem de transdutores de força piezoelétricos é aplicada por parafusos pelo lado interno do rolo, a fim de evitar distúrbios não desejados da superfície do rolo. O eixo longitudinal de cada zona de medição é alinhado à direção de movimento da fita. O ângulo de envolvimento é escolhido de maneira que a nenhum momento toda cobertura do sensor está completamente em contato com a fita, mas somente com uma parte desta.

Isto resulta numa zona de contato retangular (veja área azul na Figura 6). A força de contato resultante sobre a cobertura do sensor é distribuída sobre os dois sensores (forças dos sensores F_S1 e F_S2),

$$F_{\text{resultant}} = F_{S1} + F_{S2},$$

enquanto as zonas de contato estão sobre a parte retangular da cobertura do sensor, entre os dois sensores. As forças F_S1 e F_S2 mudam enquanto a zona de contato se move através da cobertura de sensor, mas a soma de ambas se mantém constante. Ambos os sinais são somados eletricamente, desta forma produzindo um sinal com um platô quase constante durante o tempo de passagem pela fita, como mostra a Figura 4b). Esta forma permite o cálculo do valor médio durante um período finito de tempo, eliminando quase completamente a influência de ruídos e outros distúrbios menores. Este fato reduz consideravelmente as incertezas da medição, em comparação com a cobertura de um sensor de forma circular que produz um sinal com um único pico (veja Figura 4c). Um aumento do ângulo de envolvimento possui dois efeitos opostos sobre a precisão. De acordo com fórmula

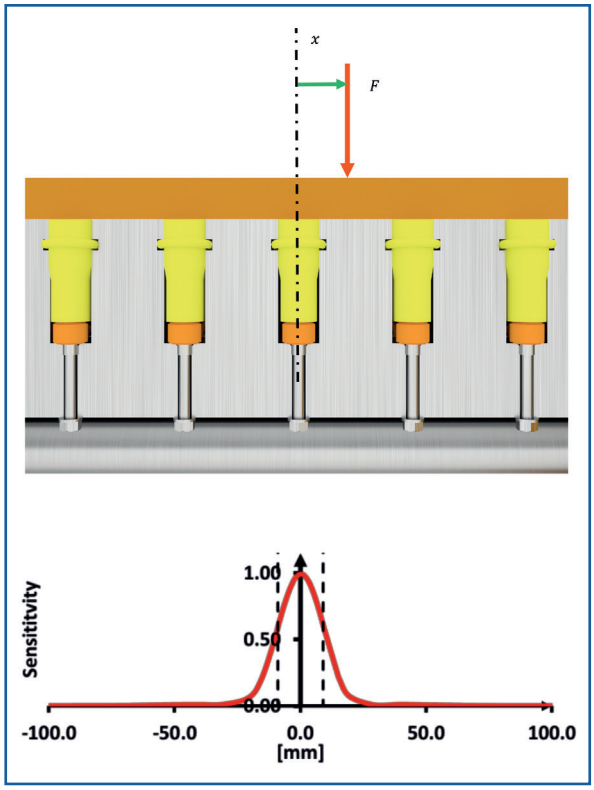


Figura 5: Comportamento de dispersão do revestimento PU

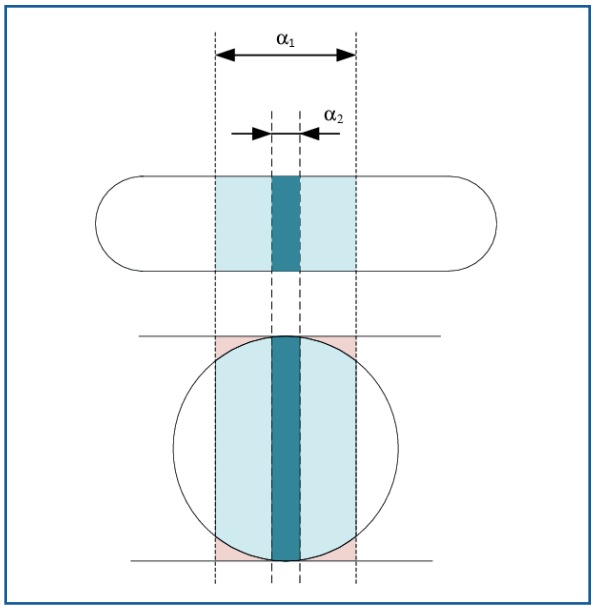


Figura 6: Zona de contato entre o ponto de medição e a fita com diferentes ângulos de envolvimento e, no caso da cobertura tipo chaveta de acordo com o princípio da BWG, a zona de contato sempre é um retângulo. Com a cobertura circular, somente uma parte da força da fita age sobre os sensores (faltando as áreas em vermelho)

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

(5), um ângulo maior induz maiores forças de contato para a mesma tensão de fita, as quais são mais fáceis de medir, enquanto, ao mesmo tempo, o comprimento, do qual se pode tirar a média, é reduzido. Como o tempo durante o qual toda a zona de contato está entre os dois sensores é reduzido, isto tem um efeito oposto sobre a precisão. O ângulo de envolvimento otimizado para o rolo de medição da forma BWG é determinado usando um algoritmo matemático de otimização.

Em termos de projeto, este projeto oferece ainda mais vantagens: A zona de medição pode ser feita significativamente mais estreita em comparação com a de furos circulares, onde o conector do cabo determina o diâmetro da cobertura do sensor. A largura da zona de medição do rolo de medição da forma BWG é de aproximadamente 18 – 28 mm, dependendo da aplicação. Quando a fita de metal é dobrada envolta de um rolo defletor com ângulo de envolvimento pequeno, o ângulo real de envolvimento não coincide necessariamente com o teórico. Dependendo da espessura e tensão da fita, um ângulo menor é estabelecido, até o ponto no qual a fita não acompanha o raio do rolo de maneira nenhuma e a zona de contato é praticamente uma linha reta. Esse comportamento cria a dificuldade que, dependendo do envolvimento real num ponto circular de medição, não é formada uma zona de contato retangular (veja Figura 4).

Desta forma, com a cobertura do sensor circular, a força completa da fita não é detectada e um conhecimento preciso respectivamente da zona de contato ou do ângulo real de envolvimento, seriam necessários para uma interpretação correta do sinal do sensor. A cobertura do sensor em forma de chaveta nos rolos de medição da forma BWG previne este problema desde o início, já que sempre há uma seção retangular da zona de

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

contato sobre a zona de medição. Devido à alta estabilidade da medição, **um perfil de tensão de fita confiável está disponível desde o primeiro contato entre os pontos de medição e a fita.** A média de diversos giros do rolo não é necessária. A seleção dos sensores e a interação dos parâmetros mencionados devem ser adaptadas às diferentes aplicações. Especialmente para fitas finas (≤ 0,5 mm), tem deve ser selecionado um sensor mais largo do que para fitas acima de 1 mm, para "captar" suficiente força de contato resultante para uma medição precisa. Como explicado, a resolução obtida na unidade-I depende da espessura da fita, propriedades do material da fita e instalação. Alguns valores tipicamente alcançados com o rolo de medição da forma BWG são aqui representados:

Material	Espessura do material	Resolução
Aço	0.25 mm	0.5 ± 0.3 IU

Livre das flutuações na tensão da fita. Os sensores do rolo de medição da forma BWG são dispostos em linha, de modo que o perfil de tensão da fita é registrado simultaneamente para toda a seção transversal. Isto previne o perfil de medição de bias resultantes em flutuações da tensão da fita durante a medição.

Detectar os gradientes no perfil de tensão da fita: perto dos lados da fita encontram-se tipicamente altos gradientes no perfil da fita, por exemplo, aqueles que se originam do bombeio térmico durante a laminação a frio. Uma amostragem discreta do perfil inevitavelmente conduz a uma homogeneização da medição em comparação com a situação real. Há três diferentes parâmetros de configuração para um rolo de medição da forma que devem ser levados em conta se o objetivo é analisar a habilidade de captar grandes gradientes. Estes são: a distância das zonas de medição entre si, a largura b_"sensor" das zonas de medição e o comportamento de suporte ou de dispersão do corpo do rolo e revestimento (assim chamado força – comportamento de dispersão). A distância e largura das zonas de medição são obviamente dependentes uma da outra. Já foi explicado que zonas de medição estreitas são possíveis devido ao projeto vantajoso dos pontos de medição da BWG. A distância das zonas de medição pode ser selecionada para ser

Figura 7: Registrando as respostas na imagem de planicidade após alterações durante o comissionamento nos atuadores do laminador skin pass. Neste caso; inicialmente a força de laminação é mudada de maneira que a planicidade é deliberadamente deteriorada. A posição de controle "plan" (planicidade) ajusta a flexão do cilindro de trabalho.

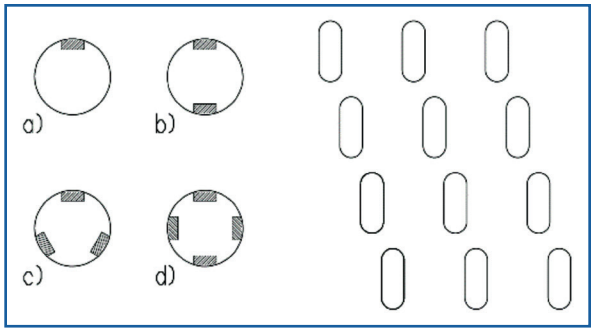


Figura 8: Configurações diferentes do rolo: base com uma série de medições, b) Dois campos de medição (180 °), c) Três séries de medições (120 °), d) Quatro séries de medições (90 °). Direita: Representação da disposição dos pontos de medição na configuração de quatro linhas (imagem fora da escala)

50 mm ou menos. Distribuídas em três linhas envolta da circunferência, pode ser alcançada uma completa cobertura da largura da fita. Uma vez que as linhas não são avaliadas ao mesmo tempo, o número de canais e, desta forma, os custos dos transmissores não sofrem aumento.

Assim resta a ser discutida a influência de um revestimento: o rolo de medição da forma BWG pode ser fornecido com diversos revestimentos, por exemplo carbureto de tungstênio ou poliuretano (PU). A força de contato entre o rolo e a fita é dispersa pelo revestimento. A Figura 5 mostra o comportamento de dispersão, por exemplo, para um revestimento de PU de 15 mm de espessura e uma zona de medição de 18 mm de largura. Se uma carga concentrada age sobre a superfície do rolo, localizada à distância d na direção axial da zona de medição, um certo sinal é produzido pelos sensores. Obviamente, com aumento da distância d, o sinal fica cada vez menor, mas mesmo se a força atua fora da zona de medição há algum sinal remanescente. A magnitude relativa do sinal com relação a d é mostrada no gráfico da Figura 5 (página 7). Da mesma maneira, no caso de uma distribuição da força de contato sobre a superfície do rolo as áreas fora da zona de medição contribuem em alguma extensão para a força resultante dos sensores. Se a distribuição for constante, i.e. originária de uma fita plana ideal, a comunicação transversal (the crosstalk)

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

de zonas adjacentes é mutuamente nivelada. Mas um perfil não constante, além da distorção por zonas de medição de largura finita, é ainda mais homogeneizado pela dispersão da força quando estão presentes grandes gradientes. Um certo nível de dispersão de força é inevitável, mas é importante manter o efeito o menor possível. Isto é controlado pela espessura do revestimento e a rigidez do material. Neste caso, também, efeitos de projeto opostos aparecem: quando a zona de medição se estreita, uma parte cada vez mais estreita da fita é escaneada, contribuindo para uma resolução paralela mais fina. Mas, além da redução da diferença da força de medição por 1 unidade-I, isto também significa que a proporção relativa da força dispersa é aumentada. O fenômeno de dispersão tem sido analisado pela BWG com métodos mecânicos contínuos e experimentalmente de forma considerável em instalações de teste de fabricação especifica. Este profundo conhecimento permite uma escolha inteligente para combinações de revestimentos e larguras de zonas de medição. Além disso, isto permite um processamento do sinal vindo das barras de medição cobertas só parcialmente na região dos lados da fita, em certas circunstâncias mesmo a avaliação de pontos de medição logo ao lado da fita. Um pré-requisito para os últimos dois pontos mencionados é um conhecimento preciso da posição da fita (fornecida por um medidor de posição adicional). Finalmente, a questão da calibração correta de um rolo de medição da forma somente pode ser respondida com um profundo conhecimento deste comportamento.

As correntes elétricas vindas dos transdutores de força piezoelétrica ativa são convertidas em voltagens proporcionais à força em amplificadores de carga especiais. Estas, por sua vez, são captadas por eletrônica de processos que seguem linha abaixo, digitalizadas e sujeitas a algum pré-

Desenvolvimento do rolo de medição da forma BWG

processamento. Com o moderno padrão industrial 'WLAN technology", os dados são transferidos a um PC de processamento no painel de controle, onde são processados novamente e preparados para a visualização e utilização em controles de circuito fechado.

O rolo de medição da forma é adequado para diversos cenários de aplicação:

Controle da forma em laminadores de skin pass: O rolo de medição de planicidade é colocado junto da abertura entre os rolos de laminação (aproximadamente a 2 m de distância). O perfil de tensão medido da fita é comparado com uma curva nominal arquivada e os atuadores que influenciam a planicidade são ajustados de maneira que os desvios em relação à curva objetivo são minimizados. O controle de circuito fechado pode ser ligado a um modelo de processo, tornando-o mais previsível. A configuração adequada depende das possibilidades de influenciar o perfil de tensão da fita por atuadores do laminador de skin pass. A configuração de uma ou duas linhas está disponível (a) e (b) na Figura 8, com a segunda fila sendo deslocada da primeira para obter uma resolução paralela maior através da largura da fita. A fim de eliminar um bias induzido por variação da tensão da fita, um medidor é colocado no centro de cada fileira. Esses medidores de referência não estão deslocados um do outro e desta forma permitem comparar diretamente o nível de variação na tensão da fita e uma correspondente correção quando as medições de diversos rolos são juntadas para formar um perfil de tensão de fita. Esta técnica é patente da BWG.

Controle de circuito fechado do Levelflex®:-BWG. O rolo de medição da forma é colocado dentro ou após o bridle (tensionador de rolos) de saída do Levelflex®, tipicamente em conjunto com uma medição do desvio lateral. Novamente, um controle em circuito fechado em conjunto com um modelo de processo pode ser providenciado para controlar os atuadores (quantidade de estiramento da fita, diâmetro do rolo inflável, e posição dos rolos de aplainamento). Além disso, o rolo de medição da forma é uma ajuda valiosa durante o colocação em marcha do equipamento e a otimização em curso do processo. Neste caso, também, as opções a) e b) na Figura 8 são úteis, caso o rolo de medição da forma não deve ser usado ao mesmo tempo no monitoramento da qualidade.

Avaliação da forma final (controle da qualidade) nas linhas de processamento de fitas: Devido a sua alta precisão e ao fato que um resultado confiável para o perfil de tensão da fita já está disponível após a primeira volta do rolo (isto significa que variações na forma também podem ser localizadas precisamente), o rolo de medição da forma BWG é excelentemente apropriado para fazer o log in da forma final nas linhas de processamento de fitas e para prover registros da qualidade. A confiança dos clientes nos produtos pode ser assim aumentada, alcançando uma vantagem competitiva com relação a outros produtores de metal. Para esta aplicação estão disponíveis variantes com três ou quatro linhas (c) e (d) na Figura 8. As linhas estão dispostas com deslocamento umas das outras, de modo a poder obter uma resolução de 12,5 mm.

Bibliografia

[1] G. Mücke, K. F. Karhausen und P.-D. Pütz, Methods of describing and assessing shape deviations in strips," Metallurgical Plant and Technology International, pp. 58-65, März 2002.

[2] DIN EN 10251:2015-11, Magnetische Werkstoffe - Verfahren zur Bestimmung der geometrischen Kenngrößen von Elektroblech und - band," 2015.

[3] F. D. Fischer, N. Friedl, A. Noé und F. Rammerstorfer, „A Study on the Buckling Behaviour of Strips and Plates with Residual Stresses," Metal Forming, pp. 327-335, 2005.