

# AUMENTO DE PRODUÇÃO, MELHOR CONTROLE DE QUALIDADE E REDUÇÃO DE PERDAS PELA MEDIÇÃO ON-LINE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS – IMPOC PRO\*

Anderson Rosa Pereira<sup>1</sup>

## Resumo

O EMG-IMPOCpro é um sistema para a medição on-line da resistência a tração e limite de escoamento, utilizado principalmente em linhas de Galvanização por Imersão a Quente e de Recozimento Contínuo, mas também pode ser aplicado em linhas de acabamento de laminados a frios em geral. Este trabalho tem como objetivo demonstrar de forma resumida como o equipamento funciona e os possíveis ganhos com a utilização deste tipo de solução.

**Palavras-chave:** Medição de propriedades mecânicas; Resistência a tração e limite de escoamento; Redução de custos; Aumento de qualidade.

## PRODUCTION INCREASE, BETTER QUALITY CONTROL AND LOSS REDUCTION BY ON-LINE MEASUREMENT OF MECHANICAL PROPERTIES - IMPOC PRO

## Abstract

EMG-IMPOCpro is a system for the on-line measurement of tensile strength and yield point, mainly used in hot dip galvanizing and continuous annealing lines, but can also be applied in cold rolled finishing lines generally. This paper aims to demonstrate in a summary way how the equipment works and the possible gains with the use of this kind of solution.

**Keywords:** Measurement of mechanical properties; Tensile strength and yield point; Cost reduction; Increase of quality.

<sup>1</sup> Engenheiro Eletricista, Coordenador de Vendas, Departamento de engenharia, EMH-Eletromecânica e Hidráulica Ltda, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

Garantir que as propriedades mecânicas específicas dos aços laminados planos sejam mantidas é uma característica essencial para o sucesso no mercado siderúrgico. O método tradicional de testes destrutivos em materiais prejudica o processo de produção contínua, uma vez que a amostragem é necessária no início e no final de cada bobina e também dificulta o entendimento sobre a interação entre a qualidade do produto e os parâmetros de influência do processo produtivo. Além disso, os métodos usados para testes destrutivos de material tornam impossível garantir o respeito às tolerâncias de qualidade em todo o comprimento e largura da tira.

Essas limitações são superadas através do uso do sistema IMPOCpro. O IMPOCpro fornece continuamente valores confiáveis relativos ao limite de escoamento e resistência à tração em todo o comprimento da tira o que torna possível aperfeiçoar os processos de produção e acabamento.

Além disso, o sistema IMPOCpro também pode ser empregado no controle direto dos laminadores de encruamento.

Outra nova área de aplicação é o uso de sistemas IMPOCpro para alimentar modelos matemáticos e sistemas de controle de fornos de recristalização em linhas de galvanização por imersão a quente. Ao determinar diretamente as propriedades do material com o sistema EMG IMPOCpro, o processo no forno de recristalização e as próprias propriedades do material podem ser influenciadas. Um aumento na produtividade e uma redução no consumo de energia podem ser demonstrados, além do aprimoramento da qualidade do material.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Princípio de operação

O princípio básico de funcionamento é a indução magnética. Baseado no fato de que existem relações físicas bem conhecidas entre as propriedades mecânicas e as propriedades magnéticas do aço ferromagnético laminado, o sistema IMPOC periodicamente magnetiza a tira e subsequentemente mede a força do campo magnético residual do material. Para operar na alta velocidade de linhas típicas de produção de aço, como linhas de galvanização por imersão a quente ou linhas de recozimento contínuo, é usado um campo magnético pulsado.

A amplitude do pulso do campo magnético é fixa e é escolhida para saturar magneticamente o material. Após o pulso do campo magnético externo ter decaído, resta apenas a indução magnética remanescente da tira magnetizada. Essa indução remanescente é medida por sensores de campo magnético altamente sensíveis.

Os dois sensores são construídos de forma idêntica, dispostos na parte superior e inferior da faixa. Cada cabeçote de medição consiste de uma bobina magnetizante, que fornece resfriamento para o óleo do transformador e dissipa o calor resultante através de um dissipador de calor para a área circundante e/ou para o sistema de resfriamento, bem como uma sonda de campo magnético para registrar os valores medidos (Figura 1).

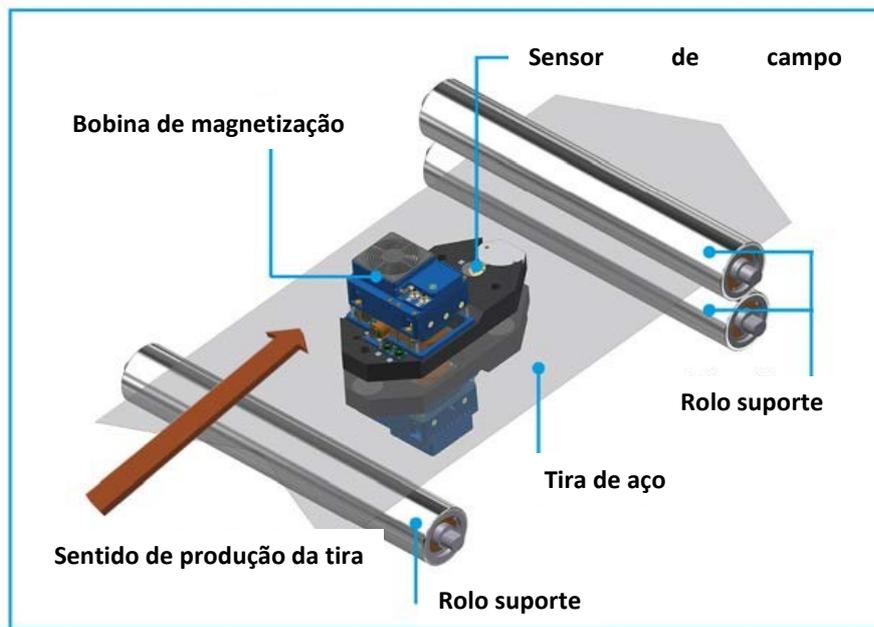


Figura 1. Diagrama esquemático do princípio de operação.

As sondas de campo magnético são altamente sensíveis e medem o gradiente de intensidade do campo magnético residual em A/m<sup>2</sup> na parte superior e inferior da tira. A média subsequente do gradiente dos dois valores medidos compensa amplamente a influência das vibrações na tira. Os parâmetros mecânicos da tira (isto é, resistência à tração e limite de escoamento) podem então ser atribuídos a este gradiente através de correlações.

## 2.2 Modelamento de dados e desempenho do sistema

A Modelagem de Dados é essencial para derivar as propriedades mecânicas das medições do campo magnético. Os modelos lineares subjacentes levam cinco variáveis em consideração:

- a) Os resultados dos testes destrutivos;
- b) O valor IMPOC medido;
- c) A espessura da chapa;
- d) Alongamento do SPM;
- e) Grau de escoamento em combinação ou separadamente.

Todas as variáveis são medidas de forma on-line e o cálculo é realizado durante a produção da tira. As classes de aço são separadas em diferentes classes de material e, em seguida, analisadas usando regressão linear múltipla.

Funções lineares como as mostradas abaixo são calculadas:

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = k_1 + k_2 \cdot H_1 + k_3 \cdot d + k_4 \cdot SKD + k_5 \cdot YD + k_6 \cdot R_x$$

Onde

$R_x$  : Resultado dos testes destrutivos

$R_{p0.2}$ , (limite de escoamento),  $R_{eL}$ , (ponto de escoamento mínimo)  $R_{eH}$  (ponto de escoamento máximo) ou  $R_m$  (Resistência a tração)

$k_i$  : Coeficiente de regressão

$H_i$ : Valor IMPOC medido

$d$ : Espessura da tira

$SKD_s$ : Alongamento do SPM (proporção de alterações no comprimento da tira antes e depois do SPM) (semelhante ao alongamento do SPM)

$YD$ : Grau de escoamento (relação de mudanças no comprimento da tira antes e depois da desempenadeira tensora).

As diferentes classes de material são agrupadas com base em composição química similar e condições de processamento similares. Vários grupos, como aços de baixo carbono, aços IF, alta resistência, aços de baixa liga e aços de endurecimento por aspersão são formados.

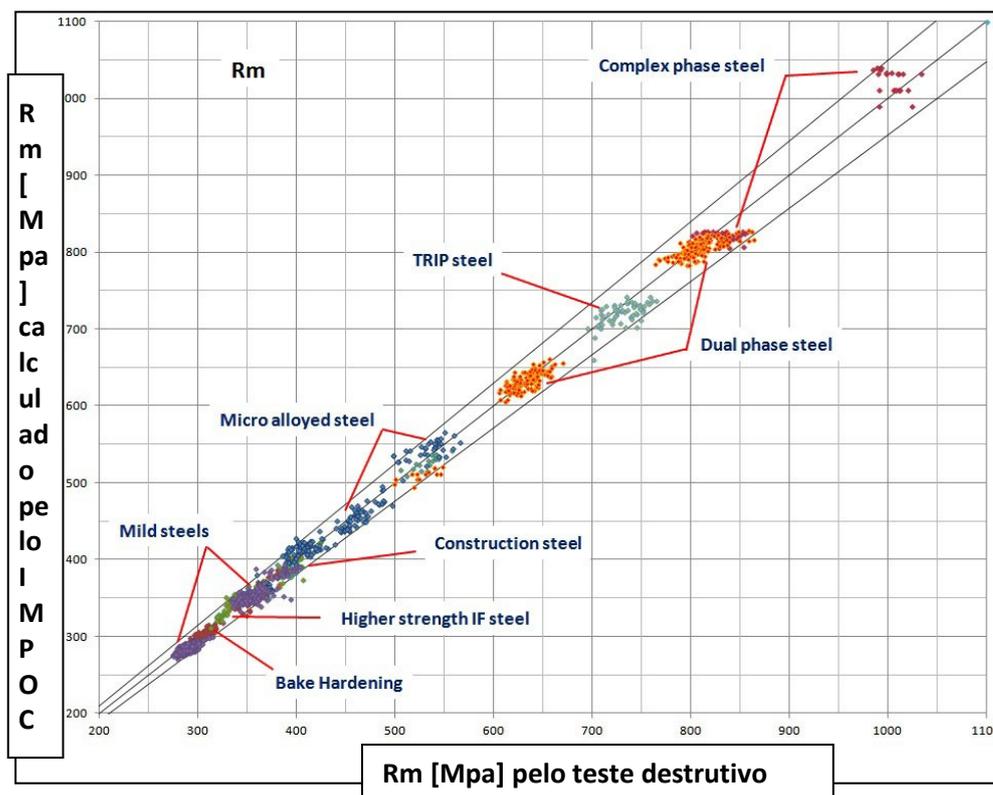
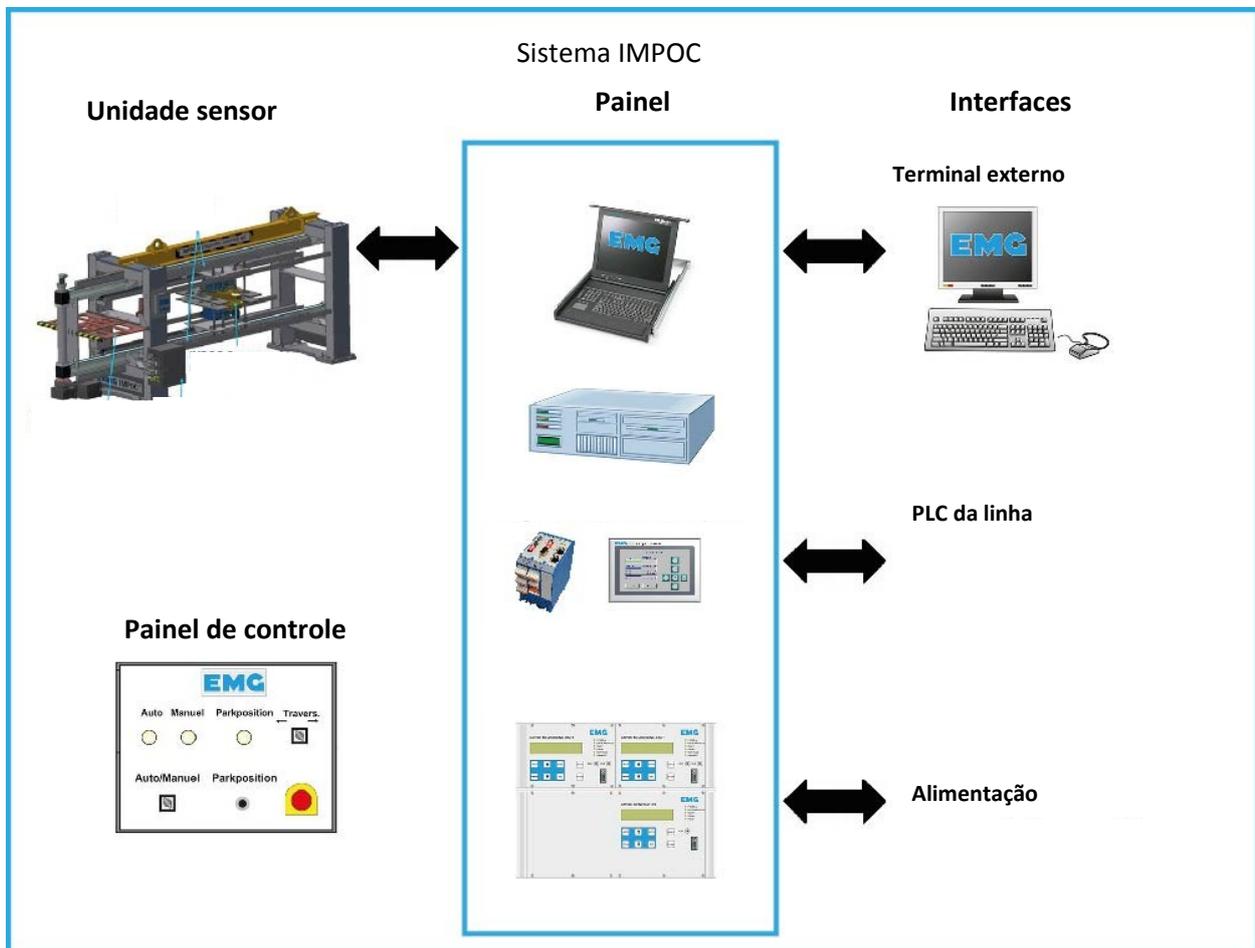


Figura 2. Exemplo de regressão para resistência a tração.

Um exemplo é mostrado na figura 2. A figura mostra os agrupamentos e a comparação entre os testes destrutivos e o resultado IMPOC.

## 2.3 Arquitetura do sistema e componentes principais

### 2.3.1 Arquitetura da solução IMPOC.

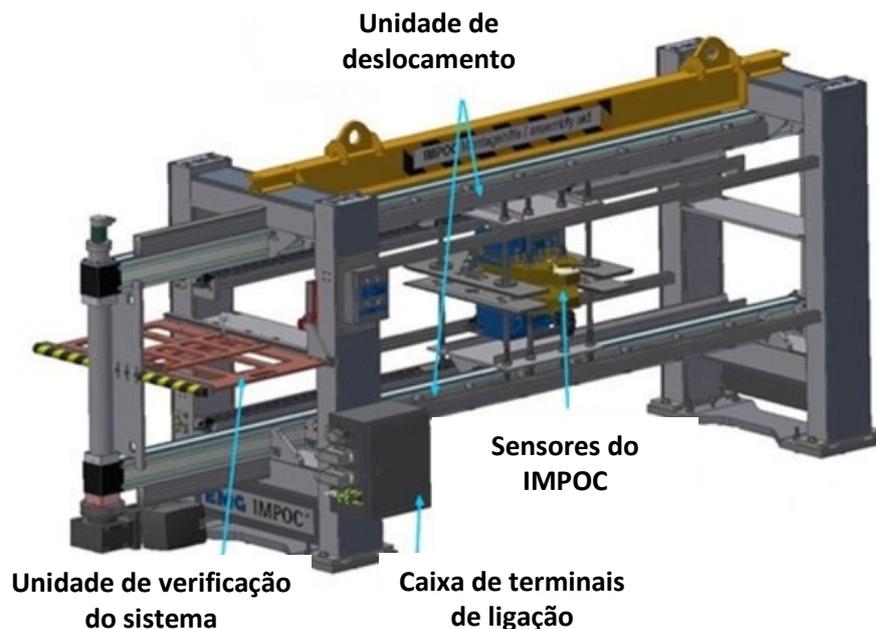


**Figura 3.**Arquitetura do sistema IMPOC

### 2.3.2 Componentes principais:

#### 2.3.2.1 Unidade do sensor:

Inclui uma unidade de deslocamento, uma caixa de terminais de ligação, os sistemas de captação para os sensores IMPOC em materiais não magnéticos e o acionamento. As dimensões são projetadas de acordo com cada projeto.



**Figura 4.** Unidade do sensor

#### 2.3.2.2 Painel de controle:

O painel de controle incorpora o gerador IMPOC (produz periodicamente um pulso de corrente), a unidade de medição (sincronizada pela unidade geradora, detecta o gradiente da intensidade do campo magnético residual da tira por meio de sondas de campo magnético, estes sinais são então transmitidos para o servidor IMPOC para cálculo e exibição das propriedades mecânicas), PLC (permite a adaptação aos requisitos específicos do cliente e as sequências funcionais de todo o equipamento) e servidor IMPOC (responsável pela troca de dados para a rede do cliente).

#### 2.3.2.2 Painel de operação:

É usado para alternar entre o modo automático e manual e para operar os sensores IMPOC. A posição de instalação pode ser adaptada aos requisitos individuais.

## 2.4 Benefícios técnicos e econômicos

Para se conhecer em detalhes todo o potencial de retorno de investimento de um equipamento como o IMPOC é preciso primeiro determinar onde estão os problemas na produção a fim de identificar onde a economia potencial pode ser alcançada.

Nos tópicos listados nas próximas páginas os potenciais de economia típicos que podem ser obtidos através do uso do IMPOC serão explorados.

#### 2.4.1 Resposta mais rápida a variações de produção.

No método de teste convencional para medição da resistência à tração e limite de escoamento, as amostras são obtidas em pontos predeterminados da tira e posteriormente avaliadas em um laboratório de testes. Com este tipo de amostragem destrutiva, as vezes podem ser necessárias várias horas até que os resultados estejam disponíveis. Este é um tempo significativo, durante o qual uma

boa quantidade de material com defeito pode ser produzido, sem possibilidade de reação por parte da equipe de operação. Esse material que não atende mais aos requisitos de qualidade do cliente só pode ser vendido com redução de preço o que prejudica a rentabilidade das linhas.

A situação ainda pode piorar quando a qualidade do material é tão ruim que impede a comercialização e força a reutilização como sucata. Isso não leva apenas a um rendimento reduzido, mas a uma perda total de todas as despesas investidas na produção desse material.

Com o IMPOCpro os dados de medição ficam disponíveis imediatamente e os alarmes informam quando há desvios do valor padrão. A experiência mostra que pode evitar 50 a 60% da perda de qualidade e que a sucata pode ser reduzida em aproximadamente 20%.

#### 2.4.2 Redução de despesas com inspeção.

Bobinas com variações nas propriedades do material são bloqueadas, retrabalhadas e avaliadas em uma linha de inspeção. Para este propósito, após o corte de um certo comprimento de tira (normalmente em intervalos de 100m) as amostras são coletadas novamente e novo teste destrutivo se faz necessário. Este processo pode ser repetido três a quatro vezes e obviamente gera custos consideráveis.

Além disso, a cada etapa de inspeção, um pedaço de tira é removido o que gera mais sucata.

Com o IMPOCpro este problema é bastante reduzido uma vez que o equipamento fornece uma visão geral das propriedades mecânicas em todo o comprimento e largura da tira, possibilitando ações direcionadas somente no material que está fora das especificações.

#### 2.4.3 Redução de amostras.

Os métodos convencionais para teste de tiras não são apenas demorados, mas o equipamento para teste, bem como o pessoal de operação, criam um custo fixo por amostra. Em suma, quanto mais testado, mais custos serão gerados.

Além desses custos fixos para amostragem, as perdas inerentes de material ocorrem quando um certo comprimento da tira é removido da bobina durante o teste destrutivo.

Com o IMPOCpro a amostragem pode ser substituída ou reduzida. Um completo abandono dos testes destrutivos nem sempre é possível devido às regulamentações para certificação de fábrica e requisitos do cliente. As experiências dos usuários do IMPOCpro no entanto revelam que 30% a 50% de todos os testes destrutivos podem ser eliminados. Isso significa uma redução de 30% a 50% dos custos de amostragem e também uma redução nas perdas de material.

#### 2.4.4 Otimização do processo no SPM

Com laminadores autônomos, é necessário um certo tempo em cada bobina até que as forças de laminação ideais sejam ajustadas. Assim, no início e no final de cada tira, há áreas que não são processadas de maneira ideal. Para cada planta, existem regras básicas para estimar o tamanho dessas áreas. Por uma questão de simplicidade esses comprimentos máximos são sumariamente removidos do início e do final de cada bobina. Isso é conhecido como um corte fixo.

Como é por motivos de segurança que este pedaço da tira é removido, isto resulta em perdas evitáveis.

#### 2.4.5 Evitar despesas com embalagem

Frequentemente o material é embalado imediatamente após a produção. Se o defeito não for descoberto rapidamente e a embalagem for concluída as bobinas devem ser desembaladas para serem novamente inspecionadas. O material de embalagem usado não pode reaproveitado. O custo deve ser considerado como uma perda, assim como horas de pessoal e máquina.

Em algumas linhas, o procedimento de embalagem aguarda até que os resultados do teste estejam disponíveis para evitar. Essa abordagem, no entanto, requer maior capacidade de armazenamento provisório, o que, por sua vez, causa custos adicionais.

Devido ao rápido tempo de resposta com o IMPOCpro, os dados medidos estão disponíveis imediatamente, ou seja, antes que as bobinas possam ser embaladas. Isso reflete positivamente em relação aos custos (ou perdas) de embalagem.

#### 2.4.6 Ganhos adicionais.

Os cenários mencionados anteriormente são aqueles que provavelmente são familiares a todos os especialistas em linhas de galvanização por imersão a quente ou linhas de recozimento contínuo.

Além disso, no entanto, ainda existem alguns outros aspectos interessantes. Estes incluem, entre outras coisas:

- Possível melhora da operação do forno com base na análise on-line das propriedades mecânicas e na economia de energia;
- Disponibilização rápida de dados das propriedades mecânicas durante o desenvolvimento de novos tipos de aço;
- Separar folhas defeituosas nas linhas de estampagem;
- Aumento da segurança no local de trabalho através da redução do manuseio de amostras.

### 3 CONCLUSÃO

Todos os pontos discutidos no tópico anterior são aspectos positivos que acompanham a implementação do sistema IMPOCpro, entretanto cada linha de produção é muito específica e, portanto, muito difícil de quantificar de forma precisa todos os ganhos advindos da instalação do equipamento.

Em geral, com o IMPOCpro, a certeza sobre a qualidade de uma bobina é disponibilizada imediatamente, uma vez que não é mais necessário aguardar os resultados de testes destrutivos. Além disso, as tendências ao longo do comprimento e largura da bobina estão disponíveis, o que é crucial para o aprimoramento dos processos de produção e processos subsequentes, bem como para o manuseio de materiais. A disponibilidade dos dados do IMPOC permitem ganhos relevantes que, em casos individuais, podem ir além dos exemplos mostrados aqui.

Estes ganhos baseiam-se principalmente no tempo ganho esperando pelos resultados dos testes, na redução do esforço de inspeção e no material economizado. Além disso, existem influências positivas não implícitas em toda a produção. Além da intervenção diretamente controlada nos processos produtivos, a disponibilização imediata dos dados sobre as condições de toda a tira permite principalmente a criação de condições mais favoráveis e duradouras que, em última análise possibilita a produção de materiais de maior qualidade.

## REFERÊNCIAS

- 1 Matyuk V.F.: Pulsed magnetic testing of strengthening characteristics of ferromagnetic articles, Vestsi Nat. Akad. NavukBelarusi, Ser. Fiz.-Tekhn. Navuk, 1998, no.4, pp. 114-118.
- 2 Matyuk V.F., Osipov A.A.: Pulsed magnetic testing of separately moving sheets in the production line, Defektoskopiya, 1995, no.6, pp. 56-62.
- 3 Dürr W. and Irle M.: Stahl & Eisen 123 (2003) No. 10, pages 73-77.
- 4 Kneller E.: Ferromagnetismus, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1962.
- 5 Seeger A.: Moderne Probleme der Metallphysik. Band I und II, Springer Verlag Berlin 1965/1966.
- 6 Blumenhauer H.: Werkstoffprüfung, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1994.
- 7 Dürr W.: IMPOC – operating experience and customer benefits at ThyssenKrupp Steel AG, Presentation, Innovation Talks 2007, EMG.
- 8 Herrmann. K and Irle. M.: IMPOC – An On-line Material Properties Measurement System, Flat-Rolled Steel Processes: Advanced Technologies, Taylor & Francis, pp.265 – 269.
- 9 Jordan A. and Devorich S.: IMPOC - increasing production yield by on-line measurement of material properties, Proceedings of the 100th Galvanisers Meeting Baltimore, 2009.
- 10 Jordan A. and Herrmann K.: IMPOCpro-Increasing production yield by on-line measurement of material properties, 2009.