

# AVANÇOS E PERSPECTIVAS PARA O REVESTIMENTO POR SOLDAGEM DE ROLOS PARA LINGOTAMENTO CONTÍNUO E LAMINAÇÃO A QUENTE\*

Dorival Gonçalves Tecco\*\*  
Jan Josef Karel Stekly\*\*\*

KEYWORDS: SOLDAGEM, REVESTIMENTO, ROLOS DE LAMINAÇÃO

## SUMÁRIO

Os constantes desenvolvimentos nos materiais e métodos de soldagem têm impulsionado o uso de rolos assim revestidos em substituição aos rolos tratados termicamente ou não e que são fabricados por outras técnicas como fundição e forja. Desta forma, torna-se possível aliar as vantagens de uma base forjada que exibe uma relação ótima entre resistência mecânica e tenacidade com uma camada superficial especificamente projetada para suportar os complexos e severos sistemas de deformação e desgaste que atuam na laminação. As aplicações de soldagem também estão permitindo a reconstituição de rolos existentes, estendendo sua vida útil e reduzindo o descarte desnecessário.

Este trabalho revisa alguns dos critérios de projeto mais importantes para os materiais e métodos de soldagem para revestimento de rolos para lingotamento contínuo e laminação a quente, sumariza as tendências em aplicação e os desenvolvimentos recentes. Uma comparação entre processos convencionais de soldagem é também incluída e finalmente são discutidos alguns dos requisitos importantes para os equipamentos, no sentido de garantir uma qualidade consistente para os revestimentos.

---

\* Trabalho apresentado no 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais

\*\* Ph.D., C.Eng., M.Weld.I., IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo - SP, Brasil

\*\*\* Ph.D. (Cantab), M.Weld.I., Welding Alloys Ltd., Fowlmere, Royston, Herts SG8 7QP, Inglaterra

## **INTRODUÇÃO**

Os rolos de laminação usados na indústria siderúrgica são submetidos a sistemas complexos e severos de deformação e outros mecanismos de desgaste. Nestes casos, o desgaste decorrente da abrasão e/ou adesão metal-metal pode ser exacerbado pela ação individual ou combinada de oxidação e corrosão. Fadiga é observada em casos de rolos sujeitos a tensões cíclicas e corrosão. A solicitação severa, juntamente com a demanda industrial de aumento de produtividade e melhora na qualidade do produto acabado estão forçando a indústria a desenvolver novos materiais para rolos.

Nos últimos anos os avanços nos materiais e técnicas de soldagem para fabricação e recuperação de rolos foram notáveis, gerando um crescente interesse pela substituição de rolos fundidos ou forjados por rolos revestidos por soldagem. A idéia fundamental neste caso é combinar o uso de materiais-base de baixo custo e materiais de adição nobres com ótima estabilidade microestrutural, tenacidade e resistência à abrasão, à corrosão e resistência à oxidação. Um grande esforço vem sendo gasto para desenvolver novos consumíveis e equipamento para melhorar a soldabilidade, a qualidade/propriedades dos depósitos e reduzir os custos na soldagem.

Este trabalho aborda separadamente os rolos para lingotamento contínuo e laminação a quente, sob os pontos de vista de mecanismos de desgaste mais relevantes, métodos de soldagem e materiais de adição promissores. São descritas as aplicações e avanços nos setores onde os métodos de solda já estão estabelecidos e são apresentados os desenvolvimentos e perspectivas de utilização para materiais de difícil soldabilidade. São analisadas as possibilidades de aumento nas taxas de deposição e automação e são descritos alguns dos avanços trazidos pelo desenvolvimento recente de sistemas microprocessados para soldagem configurados especificamente para o revestimento de rolos e os potenciais benefícios para a qualidade, redução da dependência da mão-de-obra e dos custos fabris.

### **LINHAS DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

A prática usual para fabricação e recuperação destes rolos desde a década de 80 é baseada na deposição de uma ou mais camadas de solda sobre um metal-base forjado.

Certo consenso existe sobre o tipo adequado do metal-base, ou seja, um aço-C baixa-liga com adições de Cr, Ni, Mo e V (e.g. tipos 13CrMo4.4, 21CrMoV5.11, 16CrMo4.4, etc.), que combina tenacidade, resistência mecânica e módulo de Young suficientes para evitar falhas catastróficas e reduzir a deflexão e a taxa de propagação de trincas a partir da superfície.

O mesmo consenso não é reproduzido no caso do material de adição para solda. A técnica convencional de soldagem consistia na deposição de um aço inoxidável martensítico (tipicamente 12%Cr) com o processo arco submerso. Ficou estabelecido que esta técnica era inadequada pois as zonas re-aquecidas (aqui designadas genericamente como ZTAs) eram suscetíveis à sensitização e posterior

---

corrosão inter-cristalina, como mostrado na Figura 1. Isto limitava seriamente a capacidade dos rolos para suportar os ciclos térmicos, deformações, elevadas temperaturas e corrosão em serviço. Tentativas de melhorar os depósitos soldados com arco submerso<sup>1</sup> através da incorporação de elementos como Ni, Mo, W, V e Nb levaram a uma certa extensão da vida útil, porém não eliminaram a tendência à sensitização e corrosão inter-cristalina das ZTAs.

A percepção de que o mecanismo predominante de degeneração dos rolos estava associado à corrosão inter-cristalina [ 1 ] levou ao desenvolvimento de uma família de materiais de adição baseada na adição de N e redução no teor de C. Dentre estas ligas, descritas e.g. nas Refs. [ 1],[ 2], destacam-se aquelas listadas na Tabela 1 e que já se encontram em uso em vários países em virtude do seu desempenho comparativamente superior (Figura 2).

Relativamente às ligas convencionais Cr-C, estas novas ligas apresentam certas vantagens importantes:

(i) a cinética de envelhecimento é mais lenta (Figura 3), e daí a resistência mecânica é mantida por um tempo maior durante o serviço.

(ii) A tendência à sensitização associada à precipitação de carbonetos do tipo  $M_{23}C_6$  nos contornos de grão e inter-lamelas martensíticas [ 2] é reduzida ao mínimo. Em decorrência, a tendência à corrosão localizada é reduzida e as resistências à oxidação, à corrosão sob tensão e à fadiga térmica são aumentadas.

(iii) a cinética de re-passivação é acelerada com o teor de N em solução, particularmente na presença de Mo [ 3], [ 4], e a estabilidade e passividade dos óxidos superficiais é aumentada, o que contribui ainda mais a favor dos vetores citados em (ii).

Os trabalhos de desenvolvimento e a experiência no uso destas ligas revelaram que a produção dos depósitos ligados com N ( $\%N \geq 0.10$ ) era viável somente na soldagem com arames tubulares e arco aberto<sup>2</sup>. A produção de rolos maciços com estes materiais é economicamente inviável na atualidade pois depende de técnicas especializadas como refino por eletro-escória pressurizada. No caso da soldagem, N pode ser também incorporado a partir da atmosfera ambiente, além de compostos ricos em N incorporados no revestimento interno, e a composição dos elementos fluxantes e desoxidantes pode ser ajustada precisamente para a liga específica. Tentativas de produzir depósitos de solda sob proteção gasosa ou arco submerso mostraram-se infrutíferas até o momento seja pela impossibilidade de atingir os níveis de N requeridos para endurecimento ou dificuldade em retirar a escória após a solidificação. Obviamente o processo arco aberto para produção destes depósitos trouxe vantagens industriais muito práticas, conforme descrito a seguir.

---

<sup>1</sup> no presente contexto, refere-se ao processo de soldagem com arco submerso que emprega arames com seção transversal circular, seja ela sólida ou tubular.

<sup>2</sup> um caso específico do processo de soldagem com arames tubulares.

A vantagem destes materiais aprimorados varia conforme a localização dos rolos ao longo da linha de lingotamento contínuo, face à diversidade nas solicitações e ambiente existentes. Até o momento pouco subsídio científico é disponível para estabelecer precisamente os mecanismos que atuam em cada setor da linha de lingotamento, porém as seguintes observações empíricas podem ser feitas:

**Rolos de saída do molde:** estes rolos são submetidos a temperaturas elevadas, oxidação e corrosão. No passado estes rolos tendiam a ser usados sem revestimento soldado pois seu diâmetro é geralmente pequeno (o que implica em dificuldades para soldagem com arco submerso), e sua vida útil ficava limitada a 40-80 corridas. A necessidade de reduzir as paradas da linha para troca de rolos ou outras razões levou a tentativas de uso de ligas de Co, que mostraram ser possível estender a vida útil entre 10-20 vezes, porém há uma certa relutância na adoção destas ligas de alto custo. O consumível Cr-Ni-Mo-Co-V-W-N (Tabela 1) tem sido aceito como uma solução satisfatória, inclusive em testes iniciais em curso no Brasil, sua vantagem ficando mais e mais evidente à medida que o diâmetro dos rolos aumenta com o distanciamento do molde.

**Regiões de Curvatura e Endireitamento:** nestas regiões o contato com o refrigerante acelera os processos de corrosão. No caso das regiões de curvatura, as ligas convencionais Cr-C são susceptíveis à formação de fissuras ("crazy cracks") por fadiga térmica e corrosão sob tensão, iniciadas preferencialmente nas ZTAs. No caso dos rolos de endireitamento, as tensões são muito maiores e as taxas de incidência e propagação de fissuras por corrosão sob tensão e fadiga térmica são exacerbadas. A substituição pelas novas ligas traz vantagens imediatas pelas razões já citadas anteriormente, conforme mostrado na Figura 2. É interessante observar que a substituição dos rolos longos por rolos segmentados (i.e. pequeno comprimento) proporciona uma redução no momento fletor, em detrimento de um maior desgaste abrasivo (atribuído a temperaturas superficiais e esforços de compressão mais elevados). No caso das novas ligas endurecidas com N, estudos estão sendo conduzidos para reduzir este desgaste abrasivo, que tem a morfologia de indicações alongadas. Sob o ponto de vista de processo, a redução no comprimento dos rolos favoreceu o uso de processos contínuos de soldagem circunferenciais (como arco aberto com oscilação) em relação aos outros processos longitudinais que requerem o reposicionamento axial do rolo (e.g. fita<sup>3</sup>) e são marcados por um baixo fator de trabalho.

**Região de Saída:** Nesta região a solicitação não é tão severa como nas anteriores e a vida útil dos rolos tende a ser elevada, a ponto de até dispensar o revestimento soldado.

---

<sup>3</sup> uma variante do processo arco submerso que emprega uma fita com seção retangular, seja ela sólida ou não. A fita oca preenchida com elementos na forma de pó é aqui designada como fita tubular.

## LINHAS DE LAMINAÇÃO A QUENTE

Uma característica marcante nas linhas de laminação a quente é a diversidade de características de operação, em função de diferenças na composição e posição dos jatos do refrigerante, regime de trabalho, etc. Conseqüentemente, as condições de desgaste podem ser muito diferentes mesmo em linhas idênticas e a discussão a seguir deve ser qualitativa, voltada aos mecanismos predominantes. Como as dimensões dos rolos são geralmente avantajadas, há a preferência do processo arco submerso para reconstituição e revestimento, devido a fatores como a boa taxa de deposição, a qualidade do depósito e a chance de automação.

**Rolos de Tratamento Térmico (Recozimento):** estes rolos são submetidos a temperaturas muito elevadas e conduzem os lingotes do forno de tratamento térmico para os rolos de mesa. As solicitações mecânicas são muito modestas, porém os rolos devem possuir excelente resistência à oxidação e à formação de carepa. As alternativas para revestimento mais comuns na atualidade são as ligas inoxidáveis austeníticas (particularmente 25%Cr-35%Ni-3%Mo-0.35%C), outras ligas de maior custo como a tipo Stelloy C (base Ni-19%Cr-16%Mo-5%W-5%Fe) ou a tipo Stelloy X (base Ni-18%Cr-8%Mo-2%Co). Ligas comuns (baixo custo) de aços inoxidáveis austeníticos são eventualmente encontradas, porém deve haver uma tendência à substituição pelas ligas mais nobres.

**Rolos de Mesa:** estes rolos são submetidos a baixas solicitações mecânicas e temperaturas de trabalho moderadas, de forma que e a vida útil tende a ser bastante prolongada. Depósitos em aço-C do tipo 1,5%Cr-0.5%Mo com dureza da ordem de 350HB são normalmente empregados. Estes tendem a ser substituídos por ligas inoxidáveis martensíticas (e.g. 12%Cr) nas situações de temperaturas de trabalho mais elevadas e que induzem à fissuração por fadiga térmica. Uma vista de um rolo sendo revestido pelo processo arco submerso (com arames tubulares e fluxo neutro) é mostrada na Figura 4.

**Rolos Quebradores de Carepa:** as características mais marcantes destes rolos são a alta velocidade periférica e as altas quantidades de refrigerante que impingem sobre eles. As ligas inoxidáveis martensíticas do tipo 12%Cr-C têm sido empregadas, porém estas tendem a ser suscetíveis à corrosão/erosão nas ZTAs sensitizadas e, assim, estão sendo substituídas com vantagem pelas novas ligas ligadas com N e já descritas neste trabalho.

**Rolos Desbastadores de Borda (“Edger Rolls”):** estes rolos são eventualmente empregados para deformar as laterais dos tarugos antes da entrada no laminador primário. Estes rolos são sujeitos a altas tensões de trabalho, bem como a ciclos rápidos de temperatura elevada e refrigeração forçada. Além de falha progressiva originada pela fluência durante os ciclos rápidos de alta temperatura, estes rolos também tendem a desenvolver fissuras extensivas a partir de fadiga térmica (“crazy cracks”) ou então fissuras sub-superficiais devido a rolamento de contato (especialmente quando a dureza é baixa). A tendência atual em material de soldagem para revestimento destes rolos consiste de aços-C do tipo Cr-Mo-V, que combina níveis aceitáveis de estabilidade térmica a altas temperaturas, manutenção

da dureza mesmo após os rápidos ciclos térmicos e resistência à fadiga térmica. A Figura 5 mostra o aspecto de um rolo revestido após usinagem final.

### **Rolos Laminadores:**

A título de referência, será considerada uma configuração onde a laminação é realizada inicialmente por rolos primários, posteriormente por rolos intermediários e finalmente por rolos de acabamento.

No primeiro estágio de laminação, grandes reduções de espessura são possíveis pois a temperatura do lingote/tarugo é elevada. A superfície e sub-superfície destes rolos são submetidos a ciclos térmicos com picos de temperatura eventualmente tão altos como 900-1000°C e resfriamento abaixo de 100°C em alguns poucos segundos, resultando em fissuras por fadiga térmica. A situação é eventualmente agravada pela plastificação da superfície dos rolos quando a temperatura e a pressão são suficientemente altas. Duas classes de materiais-base são comuns para a confecção destes rolos, i.e. aços baixa-liga fundidos e ferros fundidos grafiticos. Enquanto que a primeira classe parece ser mais tenaz com menor incidência de falhas catastróficas, a segunda classe parece exibir desgaste menor, provavelmente pela melhor condutividade térmica e lubrificação. Até o momento, não há consenso sobre a viabilidade de reconstituir estes materiais através de soldagem, em particular no caso dos ferros fundidos que têm soldabilidade extremamente baixa. Estudos em curso indicam a viabilidade de revestir os rolos em aço baixa-liga com materiais de adição que produzem depósitos do tipo Cr-Mo-V e onde o endurecimento é baseado na precipitação de carbonetos estáveis do tipo  $M_7C_3$ .

O(s) estágio(s) intermediário(s) de laminação retém(êm) algumas semelhanças com o estágio inicial e os mecanismos de falha tendem a ser equivalentes. No entanto, o estado superficial dos rolos torna-se mais crítico para o acabamento do produto final e exige-se uma resistência ao desgaste ainda maior. Condicionado à soldabilidade dos rolos, um desenvolvimento promissor é um material de adição que produz um depósito inoxidável martensítico que contém uma alta dispersão de NbC e de carbonetos eutéticos do tipo  $M_7C_3$ . Investigações estão sendo conduzidas no momento visando a otimização da composição química e, mais especificamente, obter estes tipos de carbonetos e uma matriz que tem a condutividade térmica elevada e baixa tendência à fissuração por fadiga térmica.

Os rolos de acabamento tendem a ser fabricados a partir de ferros fundidos resfriados rapidamente, ferros fundidos ligados ao Cr ou então ligas endurecidas superficialmente, nenhuma delas soldáveis pelas ZTAs extremamente endurecíveis. Considera-se que o principal requisito para estes rolos seja a manutenção do acabamento superficial para preservar o acabamento do produto acabado. Há uma necessidade inerente de desenvolvimento de novos métodos de fabricação pois os materiais atuais tendem a desenvolver óxidos instáveis (i.e. descontínuos e/ou frágeis), que marcam a superfície dos rolos ao se destacarem, e.g. conforme mostrado na Figura 6. Estudos estão sendo conduzidos para produzir estes rolos a partir de materiais-base soldáveis e metais de adição ferrosos e ligados principalmente com Cr, Ni, Mn, Si, Mo e N (ligas desenvolvidas inicialmente com o objetivo de substituir as ligas de Co do tipo Stellite). Estas ligas contêm uma

distribuição fina de NbC e uma estrutura eutética (matriz ferrítica e lamelas ricas em Cr) com elevada estabilidade de óxidos superficiais, alta capacidade de encruamento (baixa energia de empilhamento de falhas), alta resistência à oxidação e corrosão, etc.

**Rolos de Apoio (“Back-up Rolls”):** a redução no diâmetro dos rolos de laminação relativamente às pressões de trabalho pode determinar a necessidade de rolos de apoio para limitar a flexão e evitar sua falha. Os rolos de apoio são submetidos a um severo desgaste por rolamento de contato e falham por desfolhamento progressivo ou por perda extensiva de massa, conforme exibido na Figura 7. O mecanismo e os fatores importantes envolvidos no desgaste por rolamento de contato é aquele clássico e descrito, e.g. na Ref. [ 5]. Do ponto de vista qualitativo, um material de adição ideal para revestimento de rolos deveria produzir um depósito com as seguintes qualidades: (i) alta resistência à iniciação e propagação de trincas de fadiga, (ii) alta tenacidade, (iii) microestrutura uniforme, (iv) alta capacidade para encruamento e (v) alta resistência à abrasão. O uso de depósitos martensíticos produziu resultados parcialmente satisfatórios em virtude da baixa tenacidade no estado como-soldado ou alternativamente da baixa resistência mecânica após alívio de tensões. Uma perspectiva promissora reside nas ligas desenvolvidas a partir das composições originais de aços UHT (Ultra High Toughness), com limite de elasticidade da ordem de 1600 MPa e K<sub>1c</sub> da ordem de 120 MPa√m. Como o teor de C destas ligas é moderado ou baixo, a soldabilidade é boa e testes em condições reais de operação ainda são aguardados.

#### **Mancais e Pontas de Rolos em Ferro Fundido:**

A maior parte das usinas contorna o problema de desgaste na mesa dos rolos de ferro fundido para laminação através de re-usinagens sucessivas até o limite de ajuste oferecido pelo equipamento. Ao contrário, desgastes nos mancais ou nas terminações das extremidades dos rolos são inaceitáveis e tentativas de soldagem com ligas do tipo Ni-Fe ou de aspersão térmica foram realizadas no passado sem sucesso. Testes laboratoriais e industriais sendo realizados no momento revelaram um potencial para a soldagem com arco submerso com arames tubulares e fluxo neutro, consistindo de um amantecimento com uma liga tipo Fe-Ni-Mn de baixo C e revestimento com ligas do tipo UHT citadas anteriormente. A vista de uma destas soldas experimentais é mostrada na Figura 8.

## **MÉTODOS E PROCESSOS DE SOLDAGEM**

Os grandes volumes envolvidos na fabricação ou recuperação dos rolos de e os requisitos de qualidade de depósito normalmente impõe certas limitações e critérios específicos para os métodos e processos de soldagem.

Basicamente são quatro os processos de soldagem empregados na atualidade:

(i) arco aberto, que é aplicável essencialmente com arames tubulares e é o mais simples entre os quatro, já que dispensa consumíveis como gás ou fluxos externos. Sua aplicação tem sido limitada a depósitos inoxidáveis austeníticos e martensíticos, incluindo aqueles listados na Tabela 1, apesar de haver também a possibilidade de

deposição de ligas ferrosas. As estimativas são de que este processo seja responsável por cerca de 10% do volume atual de metal depositado na Europa e EUA e há uma perspectiva de crescimento em função da adoção das ligas endurecidas com N.

(ii) Arco submerso, o mais empregado, contabilizando cerca de 80% dos mercados europeu e norte-americano, com tendência de estabilidade neste nível. Este processo é capaz de produzir depósitos de alta qualidade, com bom acabamento e com alta taxa de deposição e é indicado para a deposição de aço-C ferríticos e/ou martensíticos, que devem ser protegidos contra a absorção de N. Uma alternativa interessante, já praticada no exterior e agora sendo introduzida no Brasil, emprega arames tubulares e fluxo neutro, e.g. em substituição aos arames sólidos com fluxos ativos. Isto permite obter depósitos muito mais uniformes, independente de variações em diâmetro dos rolos, comprimento de arco, etc., com um aumento significativo nas taxas de deposição (conforme descrito a seguir).

(iii) Fita, responsável por menos de 5% do mercado e com tendência a diminuição. Suas vantagens notáveis são a capacidade para baixa diluição e alta taxa de deposição, especialmente no caso do uso de fitas tubulares. Infelizmente estas vantagens ficam obscurecidas pela dificuldade em acomodar pequenos diâmetros de rolos. No caso das fitas sólidas, há ainda o problema adicional de a variedade de ligas disponíveis no mercado ser limitada, o que demanda o uso de fluxos ligados.

(iv) MIG com adição de arame frio<sup>4</sup> (fio sólido), que atualmente responde por menos de 5% do mercado e com tendência a diminuição, propunha-se inicialmente a aumentar a taxa de deposição e reduzir a penetração no revestimento de rolos de lingotamento contínuo. Na verdade, o processo apresentava alta incidência de falta de fusão, dificuldade no posicionamento do arame frio, etc., e deve ser substituído pelo arco aberto. Por esta razão a descrição deste processo não deverá ser estendida neste trabalho.

A possibilidade de atingir altas taxas de deposição (até os limites definidos pela largura dos rolos, diluição, etc.) é também um critério importante para a evolução dos processos em decorrência dos altos consumos envolvidos. Para um mesmo tipo de consumível, e.g. um tipo de arame tubular que produz um depósito de aço-C ou liga endurecida com N, valores como 7kg/h e 10kg/h são viáveis respectivamente para os processos arco aberto e arco submerso. Valores menores são obtidos para arames sólidos, pois o efeito resistivo é comparativamente menor. O processo de revestimento com fita é capaz de taxas de deposição superiores ao arco aberto ou arco submerso, i.e. acima de 10kg/h no caso no caso de fitas tubulares. Infelizmente as dimensões da poça de fusão são muito grandes e sua aplicação econômica fica limitada a rolos de grandes diâmetros, o que praticamente exclui os rolos para lingotamento contínuo com pequeno comprimento (este problema é contornado em alguns casos através da deposição longitudinal nos rolos, porém a produtividade fica seriamente limitada).

---

<sup>4</sup> uma variante do processo MIG que envolve a adição adicional de um arame não energizado.

Outro fator importante é a chance de automação e de incorporação de vários cabeçotes ou de vários fios simultâneos num mesmo rolo para multiplicar a taxa de deposição. Naturalmente o processo arco aberto é o mais adequado neste sentido pois requer menor supervisão do operador, torna possível o uso de tochas para arames múltiplos ou de vários cabeçotes simultâneos e é inteiramente passível de automação. O processo arco submerso também oferece estas possibilidades, apesar de requerer supervisão contínua de um operador, e.g. para abastecimento de fluxo. Em virtude na natureza do processo, a soldagem com fita fica limitada a um só cabeçote por rolo e a oscilação do cabeçote não é executada na prática. No momento, as aplicações de arco aberto e arco submerso com arames tubulares tendem a ser limitadas a duas tochas para arames duplos (i.e. um total de quatro arames simultâneos), atingindo uma taxa de deposição total de 40kg/h. A Figura 9 mostra o exemplo de um equipamento micro-processado configurado desta maneira.

Finalmente, um grande impeto para o aumento da qualidade e redução da intervenção dos operadores a partir dos três últimos anos foi o desenvolvimento de sistemas digitais micro-processados configurados especificamente para o revestimento de rolos. Por exemplo, sistemas que incorporam monitoramento remoto por vídeo estão instalados e operando nos EUA no momento, permitindo que um único operador controle simultaneamente até oito tochas para arco aberto (um ou dois arames por rolo). Tais sistemas podem ser aplicados a qualquer um dos três processos aqui descritos e apresentam uma série de outras vantagens sobre os sistemas analógicos que devem impor profundas alterações no setor de revestimento, como por exemplo:

(i) incorporação de sistemas de aquisição de dados, registro e documentação para controle de qualidade,

(ii) incorporação de unidades de leitura e gravação que permitem alta repetibilidade dos parâmetros e condições de solda,

(iii) incorporação de sistemas de diagnóstico, evitando a ocorrência de descontinuidades na solda,

(iv) incorporação de sensores de alta precisão e sistemas de controle para permitir uma repetibilidade bem maior/acabamento superior e

(v) sistemas adaptativos para permitir a soldagem de perfis irregulares, e.g. rolos cônicos ou rolos com seção transversão não-circunferencial.

## REFERÊNCIAS

[ 1 ] Atamert, S., Stekly, J.J.K., 1996, "Roll life beyond 2000", Proceedings of the Symposium of Roll 2000, The Institute of Materials, 26-29 March 1996, Intl. Convention Centre, Birmingham, pp. 57

[ 2 ] Atamert, S., Stekly, J.J.K., 1994, UK Patent GB 2253804 B, "Open arc welding method and flux cored consumable electrode wires for use in the above method"

[ 3] Bernhardson, S., 1991, "The corrosion resistance of duplex stainless steels", Proceeding of a symposium on Duplex Stainless Steels 91, Vol. 1., pp. 185

[ 4] Pawel, S.J. et al, 1989, "Role of nitrogen in the pitting resistance of cast duplex CF-type stainless steel", Corrosion, Vol. 45, pp.125

[ 5] ASM Handbook, Vol. 11: Failure Analysis and Prevention, ASM Intl., 4th Ed., 1992

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o subsídio do CNPq a Dorival G. Tecco, sem o qual este trabalho não teria sido possível.

### **ABSTRACT**

The continued developments in welding materials and methods have brought about an increased preference for clad rolls in exchange for rolls manufactured by casting or forging and which may be heat treated or not. Rolls manufactured by welding allow combining optimal strength to notch toughness ratios in the parent metal with a welded deposit targeted at the complex and severe deformation and wear systems in the specific mill. Welding has also been responsible for the refurbishment of existing rolls, extending their useful life and reducing unnecessary losses.

This work reviews some of the most relevant design criteria for the welding materials and methods for manufacture and refurbishment of continuous casting and hot strip line rolls and summarizes tendencies in applications and recent developments. A comparison amongst the usual welding processes is also included and finally some of the important equipment requirements are pointed out, aiming at an improved and consistent quality for the beads.

KEYWORDS: WELDING, CLADDING, STEEL MILL ROLLS

---



Figura 1: Aparência típica de um rolo de lingotamento contínuo revestido com um fio sólido tipo AISI 400 e arco submerso, que exibiu corrosão e fratura prematuras nas ZTAs.

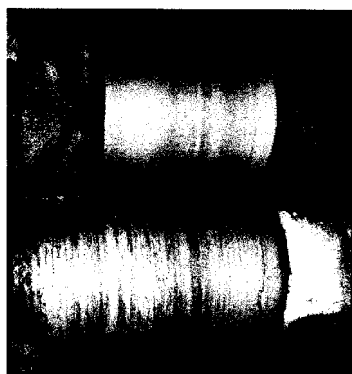


Figura 2: Aspectos superficial de rolos revestidos com arco aberto e liga 414N (rolo superior) e arco submerso e liga 410 (rolo inferior). Pretoria Works, África do Sul, após 112.000T de produção.

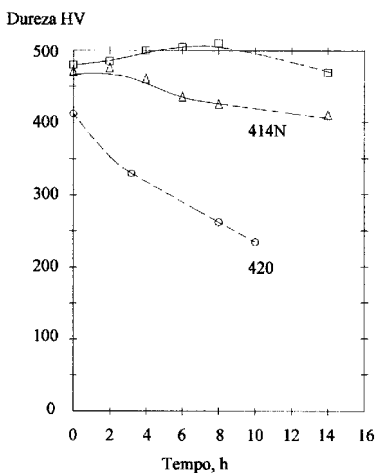


Figura 3: Curvas de envelhecimento das ligas 414N e 13%Cr-4.5%Ni-0.5%Mo-0.5%V-0.5%W-2.0%Co-0.13%N e tipo AISI 420

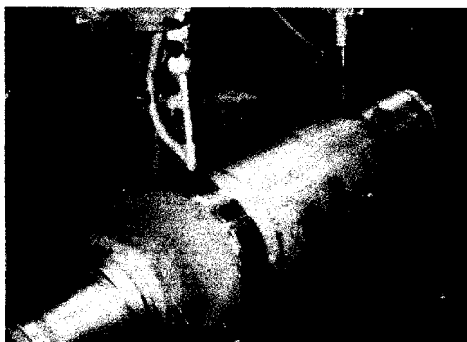


Figura 4: Rolo de mesa sendo soldado pelo processo arco submerso, empregando duas tochas simultâneas, arames tubulares Cr-Mo-V e fluxo neutro

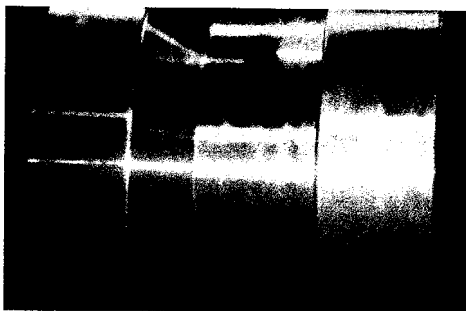


Figura 5: Vista de um rolo desbastador de borda ("edger roll") com  $\varnothing 12''$ , após revestimento por arco submerso com um arame tubular que produz um depósito de aço-C ligado com Cr-Mo-V e fluxo neutro

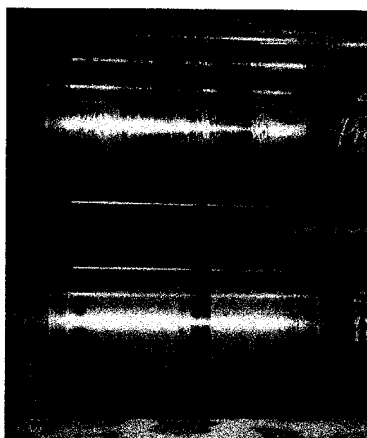


Figura 6: Aspecto superficial de rolos de laminação (rolos de acabamento) não revestidos por solda, que exibem irregularidades superficiais pelo destacamento de óxidos instáveis



Figura 7: Rolo de apoio não revestido por solda que falhou por perda extensiva de material a partir de desfolhamento por rolamento de contato com os rolos de laminação

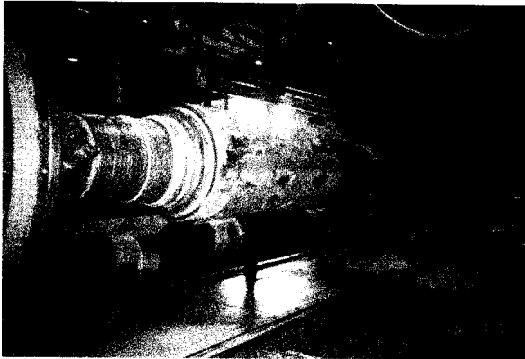


Figura 8: Vista da operação de soldagem com arco submerso para recuperação do mancal de um rolo de laminação de ferro fundido

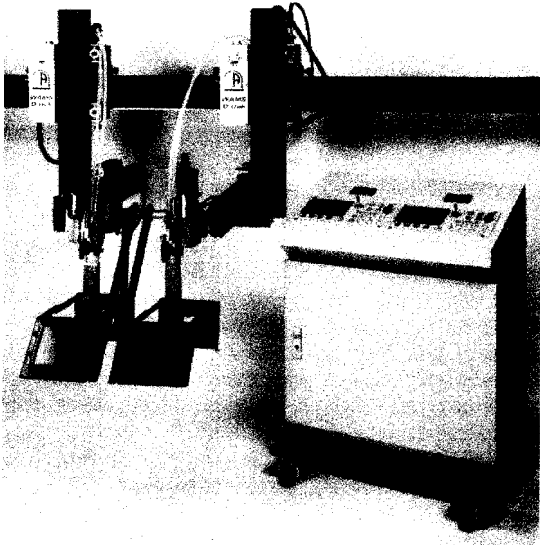


Figura 9: Exemplo de um sistema micro-processado para soldagem com arco aberto de rolos, incorporando dois cabeçotes para arames duplos e capaz de uma taxa de deposição total da ordem de 40kg/h.