

# EXPERIÊNCIA DA BT - BARDELLA TIMKEN NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS E PROCESSOS PARA REVESTIMENTO DE ROLOS E CILINDROS APLICADOS EM LAMINAÇÕES <sup>1</sup>

Vicente Pinto Neto<sup>2</sup>  
George Rocha Ghayeb<sup>3</sup>  
Júlio César Enge Rael<sup>4</sup>

## Resumo

A constante demanda por melhoria da qualidade dos produtos laminados e de aumento da produtividade dos laminadores levou a BT - Bardella Timken a decidir pelo investimento em uma instalação de alta tecnologia de soldagem de revestimento. Os materiais e processos desenvolvidos pela Timken nos Estados Unidos para revestimentos de alta performance de Rolos e Cilindros para Laminação são discutidos neste trabalho. São abordadas as diversas aplicações de revestimento duro e os resultados obtidos pela BT - Bardella Timken em seus clientes, utilizando ligas de aço inoxidável martensítico e aço ferramenta entre outras, depositadas pelo Processo de Solda a Arco Submerso com posterior tratamento térmico. Também são avaliados dados comparativos entre procedimentos convencionais de fabricação de rolos e discutidos requisitos para equipamentos, técnicas e processos, visando garantir uma qualidade superior aos revestimentos.

**Palavras-chave:** Laminação; Rolos; Cilindros; Revestimento; Arco submerso.

## THE EXPERIENCE OF BT – BARDELLA TIMKEN ON DEVELOPMENT OF MATERIALS AND PROCESS FOR ROLLING MILL ROLLS WELD OVERLAY

## Abstract

The continuous demand for quality improvement of rolled products and for the mill productivity increase led BT – Bardella Timken to decide for an investment in a high technology weld overlay facility. The materials and process developed by Timken in USA for high performance overlay of Rolling Mill Rolls are discussed in this paper. Several hard facing applications are mentioned as well the results obtained by BT – Bardella Timken in its customers, using martensitic stainless steel and tool steel alloys, among others, deposited by Submerged Arc Welding Process with post weld Heat Treatment. Comparative data with conventional roll manufacturing process are evaluated and discussed the requirement for equipment, technique and process, aiming to assure a superior quality weld overlay.

**Key words:** Rolling mill; Rolls; Weld overlay; Submerged arc

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação da ABM, 17 a 20 de outubro de 2006, Curitiba - PR

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico e de Soldagem, Engenheiro de Qualidade – Bardella Timken

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico e Mecânico – Bardella Timken

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Gerente Geral - Bardella Timken

## 1 INTRODUÇÃO

Os rolos utilizados nas laminações das indústrias siderúrgicas e de processamentos de metais estão submetidos a complexos mecanismos de desgaste. Estão presentes a abrasão e a adesão metal - metal, por vezes em conjunto com processos de corrosão e de fadiga térmica.

Aumentos de produtividade e de ações contínuas de redução de custo operacional, garantindo a qualidade do produto laminado, vêm levando as laminações a optarem por novos materiais e procedimentos de fabricação e de recuperação de Rolos.

Os avanços obtidos em materiais e técnicas de soldagem para fabricação e recuperação de rolos possibilitam a substituição de Rolos originalmente fabricados de um único material com endurecimento superficial por Rolos fabricados a partir de um núcleo resistente e dúctil revestido por solda com ligas de superior resistência ao desgaste e/ou trincas térmicas. É fácil verificar a vantagem de combinar o uso de materiais de base de baixo custo com materiais de revestimento nobres com ótima estabilidade micro estrutural.

A BT – Bardella Timken, *joint-venture* criada em 2001 entre as duas renomadas empresas, decidiu em 2003 pelo investimento em uma instalação de alta tecnologia para revestimento de rolos, baseando sua operação na tecnologia de revestimento de Rolos MILL CLAD desenvolvida pela Timken Industrial Services nos Estados Unidos.

A operação de reparo e de revestimento está equipada com recursos inéditos no mercado brasileiro, com capacidade para revestir Rolos com diâmetro de até 1.100 mm, comprimento de até 5.500 mm e de peso até 30 ton.

Na BT, a recuperação de Rolos é efetuada através de revestimento com solda por processo a Arco Submerso Automatizado (SAW) em um equipamento especialmente projetado denominado Torno de Solda, com posterior tratamento térmico em Forno calibrado.

No processo o arco submerso, o arco elétrico é estabelecido entre o arame e o material a ser soldado, o qual fica submerso em uma camada de fluxo, o que impossibilita sua observação direta, durante a transferência de metal. O calor produzido pelo arco funde uma parte do fluxo juntamente com a ponta do arame. A zona de soldagem fica envolta e protegida pelo fluxo escorificante, sobreposta ainda por uma camada de fluxo não fundido. O arame permanece a certa distância do metal de base enquanto o rolo gira e o arco elétrico se desenvolve nesta posição. O fluxo fundido sobrenada e se separa do metal de solda líquido, na forma de escória. O metal de solda com temperatura de fusão mais elevada que a da escória solidifica-se, enquanto que a escória ainda permanece fundida. A escória protege o metal recém solidificado sujeito às grandes reações reinantes nesta região.

Na BT, este processo é automatizado com PLC e acompanhado do pré-aquecimento do rolo em forno e rígido controle da temperatura de interpasses. A homogeneidade de temperatura possibilita o endurecimento uniforme ao longo da mesa e evita trincas por hidrogênio nas zonas termicamente afetadas. O Torno de Solda é equipado com queimadores posicionados diretamente sobre o Rolo e uma câmara refratária, como mostram as Figuras 1 e 2, para controle de temperatura.



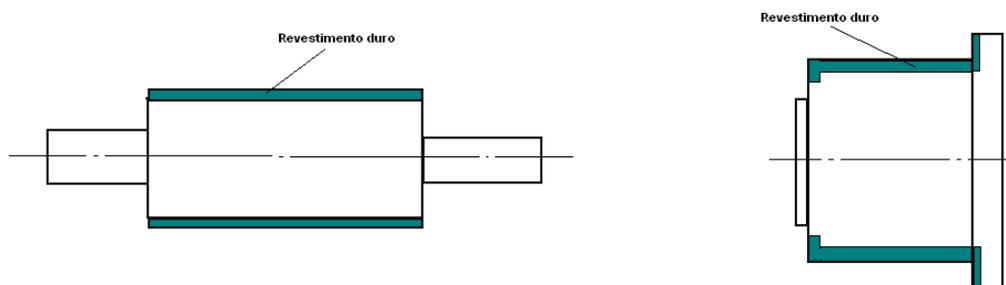
**Figura 1.** Torno de soldagem a Arco Submerso, com câmara de controle de temperatura.



**Figura 2.** Operação de soldagem no dentro da câmara de controle de temperatura.

## 2 ASPECTOS METALÚRGICOS

A soldagem de revestimento duro resistente ao desgaste consiste na obtenção de uma camada, de uma borda ou mesmo de um ponto de material sobre uma peça, com o objetivo de aumentar a sua resistência às diversas formas de desgaste. Esses revestimentos duros resistentes ao desgaste podem ser feitos em peças novas, para melhorar sua resistência ao desgaste durante serviço, ou em peças desgastadas, com o propósito de sua recuperação. A Figura 3 apresenta em detalhes, exemplos de revestimentos empregados sobre a mesa de Rolos e Cilindros. Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se respectivamente Rolo Puxador revestido na mesa e Cilindro Vertical de Borda.



**Figura 3.** Exemplos de revestimento duro em Rolo e Cilindro de Borda para indústria siderúrgica.



**Figura 4.** Rolo Puxador revestido na mesa, com processo a Arco Submerso.



**Figura 5.** Cilindro de Borda revestido na mesa, com processo a Arco Submerso.

As ligas ferrosas constituem o grupo utilizado normalmente para revestimento devido ao baixo custo relativo e à facilidade de utilização. Estas ligas podem ser tanto simples aços baixa liga como ligas complexas com uma grande variedade de carbonetos. As ligas martensíticas são utilizadas onde se tem desgaste que envolve atrito de metal contra metal ou quando se tem carregamentos de baixa tensão e de impacto.

A resistência à abrasão das ligas ferrosas é melhorada através da incorporação de diferentes tipos de carbonetos, presentes na microestrutura destas ligas com várias frações volumétricas. O mais popular dos carbonetos é o de cromo. O aumento do teor de carbono e o de cromo acarreta um aumento da fração volumétrica dos carbonetos de cromo e, com isso, melhorando a resistência à abrasão dessas ligas.<sup>[1]</sup>

As ligas com carbonetos podem ser subdivididas em ligas com carbonetos de cromo ordinários (primários) e com carbonetos especiais (secundários), onde se inclui o molibdênio, o nióbio, o vanádio, o tungstênio e o titânio como elementos formadores dos mesmos. Existem ligas com grande quantidade de elementos de liga que apresentam carbonetos na primeira camada de revestimento sobre aço doce, mesmo sob efeito de elevada diluição, sendo designadas como ligas de carbonetos extra-elevados.<sup>[2]</sup>

O carboneto de cromo é um microconstituente relativamente grande, sendo que uma área sua significativamente grande fica em contato com o meio abrasivo. Quando se tem condições de abrasão a alta tensão, tal como ocorre em moagem, esses carbonetos grandes tendem a se quebrar e descamar. Sob certas condições, os carbonetos secundários, tipicamente carbonetos de titânio (TiC), de molibdênio (MoC), de vanádio (VC) e de tungstênio (WC, W<sub>2</sub>C), são utilizados. Os carbonetos secundários são menores e se localizam na matriz entre os carbonetos primários de cromo, melhorando a resistência ao desgaste tanto a baixa quanto a alta tensão, bem como mantendo a dureza a elevadas temperaturas, o que resulta em melhor resistência ao desgaste. Embora essas ligas sejam de valores mais elevados, elas possuem uma resistência à abrasão significativamente maior quando comparadas com as ligas constituídas exclusivamente de carbonetos primários.<sup>[4]</sup>

De um modo geral, os elementos formadores de carbonetos aumentam a resistência ao desgaste, sendo neste caso, necessária a presença de uma matriz e uma coesão matriz/carbonetos que suportem adequadamente esses carbonetos. O tipo de microestrutura dos aços com maior resistência à abrasão, sem a presença de elementos formadores de carbonetos, geralmente é a bainita inferior. Nos aços liga, os tratamentos térmicos que alteram a matriz e a dispersão dos carbonetos, são decisivos. Em geral, aço liga com distribuição fina de carbonetos em matriz martensítica, contendo certas quantidades de austenita retida é uma das melhores combinações micro estruturais. A austenita retida, neste caso, aumenta a tenacidade da matriz, auxilia o suporte dos carbonetos e sofrem transformação para martensita, localmente, durante o desgaste. Os aços contendo austenita estável e homogênea, mesmo contendo elementos de liga, por exemplo, os aços inoxidáveis, não possuem alta resistência ao desgaste abrasivo. A microestrutura das ligas ferrosas de baixo teor de elementos de liga altera-se de ferrita-bainita para martensita quando o teor de elementos de liga aumenta, bem como, experimenta um aumento de dureza.<sup>[4]</sup>

### 3 MATERIAIS EMPREGADOS

Abordaremos dois grupos de materiais para revestimentos duros resistentes ao desgaste utilizados pela BT.

O primeiro grupo é baseado nos aços ligados com 12% Cr. Estes dois materiais são as ligas MILL CLAD #3 e MILL CLAD #8, respectivamente similares aos aços AISI 423 e AISI 420 modificados para as aplicações da laminação a quente. Estes aços são do tipo inoxidável martensítico, com boa resistência ao desgaste, trinca por fadiga térmica e corrosão.

O segundo grupo é baseado na composição dos aços ferramentas. O MILL CLAD# 17 similar ao aço ferramenta classe H11, possuindo excelente resistência ao desgaste e pick-up, enquanto mantém dureza mesmo a temperaturas elevadas. O tipo MILL CLAD# 4 é similar ao aço ferramenta com 5%Cr, entretanto, com maior teor de C e de Nb. Esta liga é caracterizada também por excelente resistência ao desgaste, resistência à fadiga térmica, com presença de numerosos carbonetos de Nb em sua microestrutura. Entretanto, devido ao alto teor de liga destes dois materiais, o controle do pré-aquecimento e da temperatura interpasses é muito importante. A temperatura de pré-aquecimento deverá estar em torno de 375°C ou maior.

Os Rolos para as linhas de laminação a quente possuem diversidade de condições operacionais, velocidades e refrigeração. Com dimensões avantajadas são ideais para revestimento a arco submerso, devido à alta taxa de deposição e a qualidade do depósito.

Os Rolos de mesa da região dos Fornos de Reaquecimento são submetidos a temperaturas elevadas na condução das placas. As solicitações mecânicas são severas e os Rolos devem possuir excelente resistência à oxidação e à trinca térmica. A alternativa para revestimento mais indicada é a liga MILL CLAD #3.

Para os demais Rolos de mesa, submetidos à temperatura de trabalho mais moderada, opta-se pela MILL CLAD #8 que privilegia a resistência à abrasão e oxidação.

Os Cilindros Verticais de Bordas (Edgers), aplicação inédita de revestimento desenvolvida pela BT no Brasil, estão sujeitos a esforços de laminação, bem como a ciclos rápidos de temperaturas elevadas e refrigeração. Estes Rolos tendem a desenvolver fissuras extensas por fadiga térmica e severo desgaste. A utilização das ligas MILL CLAD #4 e MILL CLAD #8 que combinam níveis aceitáveis de estabilidade térmica a altas temperaturas, manutenção de dureza e resistência à fadiga térmica.

Os Rolos do quebrador de carepa estão sujeitos ao impacto e erosão provocados pelos jatos de descamação e severo ciclo térmico. Também é indicada a liga MILL CLAD #8 devido à sua resistência a corrosão/erosão.

Para Rolos do Looper, submetidos ao contato com a tira à temperatura de 850 a 1.000 °C, com alta velocidade, alta abrasão, pick-up e impacto utilizamos a liga MILL CLAD #4, aço ferramenta de excepcional resistência ao desgaste.

Os Rolos Puxadores (Pinch Rolls) trabalham em conjunto de Rolos Superior e Inferior, localizados na entrada das Bobinadoras. Estes Rolos têm a função de receber a ponta da tira e direcioná-la para os Rolos Abraçadores ou de Envoltura, efetuando seu bobinamento. Estes Rolos estão sujeitos ao impacto da ponta ou da cauda da tira e ao extremo desgaste dado pela tensão e tempo de contato e velocidade durante o processamento. Por estarem em contato com o produto final são fundamentais para a

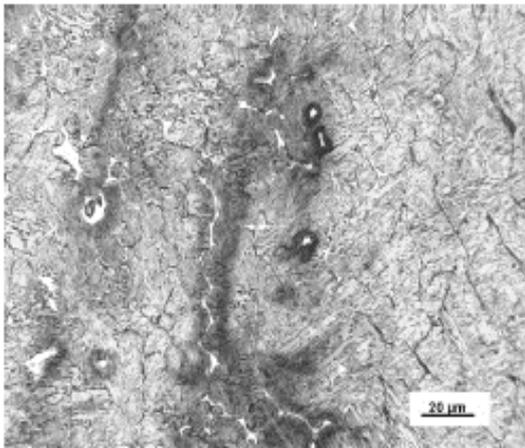
garantia da qualidade da tira. Os Rolos revestidos pela BT com a liga MILL CLAD #17, aço ferramenta, permitiram aos laminadores eliminar o defeito marca de rolo e reduzir a zero as paradas para lixamento.

### 3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

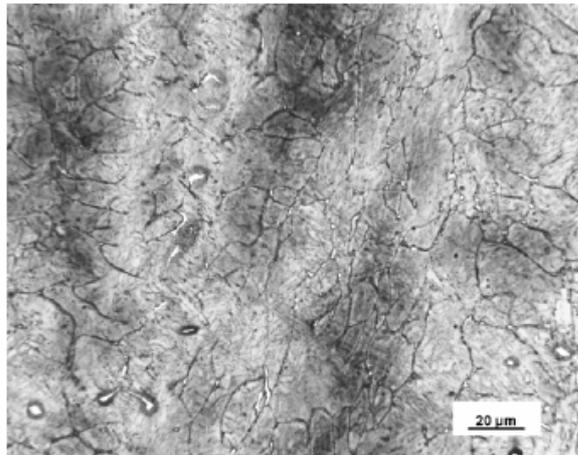
Parte desta análise foi extraída de dados de recente trabalho publicado pela Timken Industrial Services<sup>[3]</sup> combinados com o estudo de corpos de provas retirados de amostras soldadas na BT, que foram submetidos a uma série de ensaios de dureza e metalográficos, cujos resultados são apresentados a seguir.

#### 3.1 Revestimentos MC# 3 e MC# 8

O revestimento do tipo MC# 3, na condição soldada, após ataque com uma solução de metabisulfato de potássio modificado, apresenta uma microestrutura que consiste em uma rede fina dendrítica e martensítica. Através da Figura 6, antes do Tratamento Térmico, após sofrer ataque com NaOH Eletrolítico, apresenta uma fase de coloração clara, dentro das células, sendo esta definida por austenita retida. Nas paredes das células, são observadas regiões claras e escuras: Os tipos claros em forma de bastonetes ou ilhas, são carbonetos; as regiões escuras são ferrita delta. Após Tratamento Térmico, durante 2 horas a 500 °C, verifica-se que a austenita retida, observada na Figura 6, dentro das células, transformou-se em martensita revenida. A ferrita delta e os carbonetos no interior das células, mantém a mesma aparência, conforme condição observada antes do ataque, através da Figura 7.



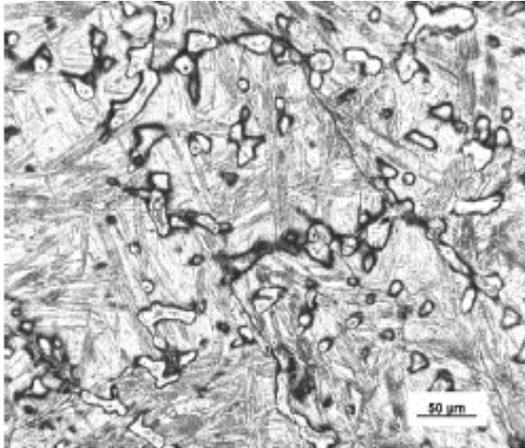
**Figura 6.** Resultado metalográfico no MC#3, como soldado, sem tratamento térmico, após ataque , 500X.



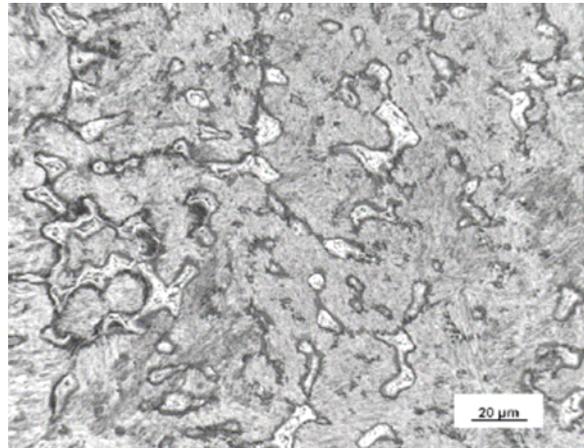
**Figura 7.** Resultado metalográfico no MC#3, após Tratamento térmico por 2 horas a 500°C, após ataque , 500X.

Na condição conforme soldado, o MC# 8 apresentou uma microestrutura martensítica, mostrado na Figura 8. Devido ao conteúdo de carbono mais elevado do MC# 8, quando comparado ao MC# 3, tende este a apresentar maior segregação durante a solidificação. É observada no interior das células e nas paredes a presença de austenita retida, como também, carbonetos e ferrita delta ao longo das paredes das

células. Após o Tratamento Térmico a 525°C, a austenita retida foi transformada a martensita revenida, os carbonetos e a ferrita delta não sofreram alterações, conforme pode ser verificado na Figura 9.



**Figura 8.** Resultado metalografico no MC#8, como soldado, sem Tratamento térmico, após ataque , 500X.



**Figura 9.** Resultado metalografico no MC#8, após Tratamento térmico por 2 horas a 525°C, após ataque , 500X.

Avaliando por difração de Raio-X, de acordo com a norma ASTM E 975,<sup>[4]</sup> foram realizadas medição do índice de austenita retida nestes revestimentos. Na condição soldada, MC# 3 apresentou 6,3% de austenita retida; após Tratamento Térmico a 550°C, o conteúdo reduziu para 2,8% ou menos. Semelhantemente fato ocorreu com o MC# 8, cujo teor passou de 29,9%, antes do Tratamento Térmico, passando para 4,8%, após o Tratamento a 525 °C.

O comportamento da ocorrência do Tratamento Térmico destas duas ligas apresenta correlação com as observações micro estruturais. Para temperaturas de revenimento de aproximadamente 150°C a 400°C, ocorreu uma pequena alteração nos valores de dureza. Porém, com aumentos na temperatura de Tratamento acima de 400°C, um aumento significativo nos resultados de dureza foi verificado. Esta ocorrência está relacionada ao endurecimento secundário. Este fenômeno é Resultado de dois fatores: transformação da austenita retida para martensita revenida e a precipitação de pequenos carbonetos complexos do tipo  $M_{23}C_6$ . Para estas ligas, o M corresponde aos carbonetos compostos de Cr, Mo e Fe. A observação micro estrutural acompanha os resultados de dureza. Portanto, concluindo que a temperatura ideal para o MC# 3 foi verificada que ocorre a 500°C e, de 525°C para MC# 8. A Figura 10 apresenta o gráfico entre estas duas ligas com os resultados da dureza, com a variação das temperaturas em °C.

Outro fator importante é a resistência destas ligas a perda de dureza quando submetidos a temperaturas elevadas. Foram executados testes de dureza à quente em ambas as ligas MC# 3 e MC# 8. Ambas as ligas exibiram alterações semelhantes nos valores de dureza, com a elevação das temperaturas. A Figura 11 apresenta estes resultados. Em ambos os casos ocorreu uma diminuição gradual nos valores de dureza, até a temperatura aproximada de 500°C. A partir desta temperatura, esta diminuição foi mais acelerada.

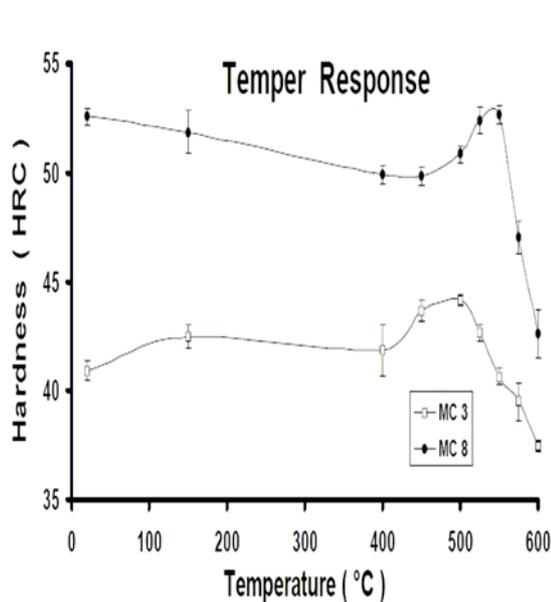


Figura 10. Resultado do ensaios de durezas a diferentes temperaturas de Tratamento térmico.

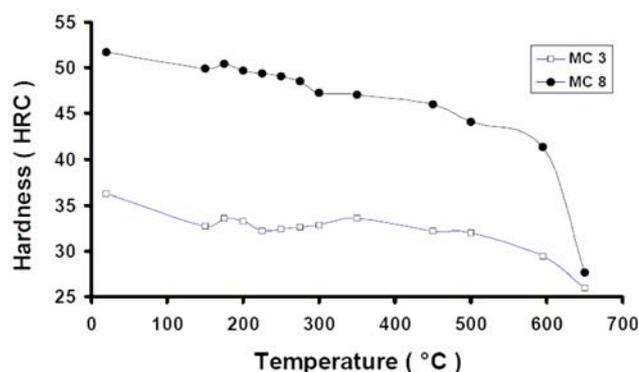


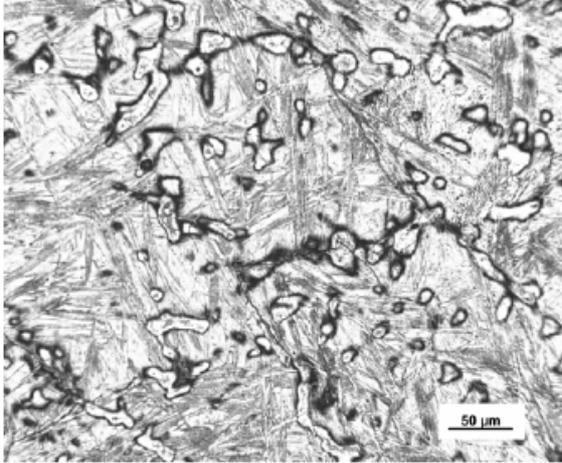
Figura 11. Resultado do ensaios de durezas a Quente das ligas MC#3 e MC#8.

### 3.2 Revestimentos MC# 4 e MC# 17

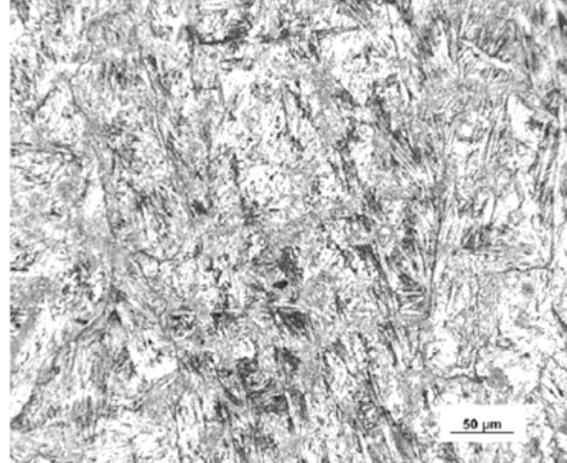
Na condição conforme soldado, o MC# 17 apresentou microestrutura bainítica celular, a qual foi claramente revelada após ataque com metabissulfato de potássio modificado. A Figura 12 apresenta o resultado. Nesta condição, esta liga apresentou 10% de austenita retida, medida por difração por Raio-X. Nas paredes das células, observa-se pequena quantidade de carbonetos. Após Tratamento térmico durante 2 horas a 525°C, o nível de austenita retida caiu para 8%.

Após o Tratamento a temperatura acima de 650°C do MC# 17, ocorreu uma completa transformação da austenita retida para martensita revenida. Esta liga contendo teores superiores a 5% Cr e o de Mo 3,5%, é portanto, esperado que ocorra o fenômeno de endurecimento secundário. Avaliando um grupo de corpos de provas, que foram duplamente tratados a faixa de 150°C a 650°C. O endurecimento secundário foi observado a aproximadamente 525°C, a Figura 14 apresenta este Resultado. O

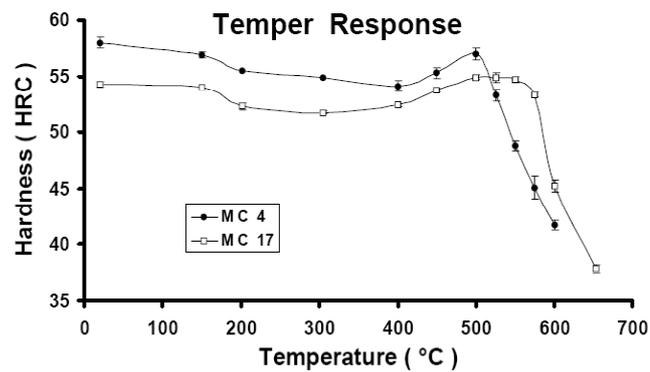
conteúdo de austenita retida, depois de duplo Tratamento a 525°C, foi menor que 2%. A Figura 15 apresenta o Resultado metalografico após este último Tratamento.



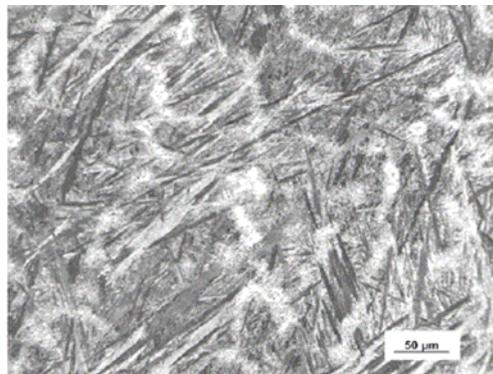
**Figura 12.** Resultado metalografico no MC#17, como soldado, sem Tratamento térmico, após ataque , 500X.



**Figura 13.** Resultado metalografico no MC#17, após Tratamento térmico por 2 horas a 525°C, após ataque , 500X.

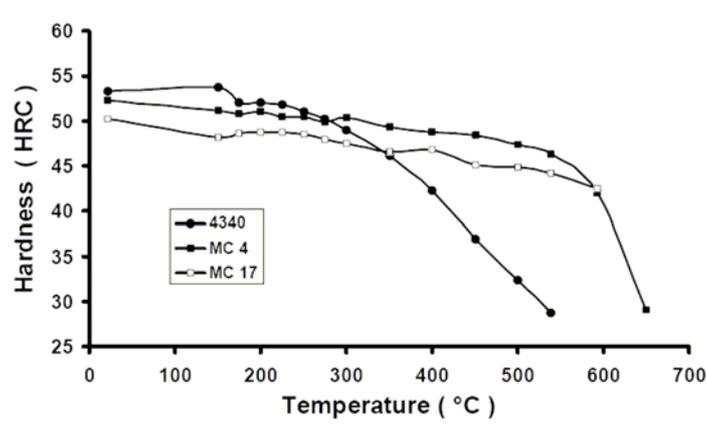


**Figura 14.** Resultado do ensaios de durezas a diferentes temperaturas de Tratamento térmico.



**Figura 15.** Resultado metalografico no MC#17, após Tratamento térmico por 2 horas a 650°C, após ataque , 500X.

Na condição soldada, a microestrutura da liga MC# 4 apresentou-se do tipo celular, conforme mostra a Figura 16. A matriz deste revestimento é martensítica primária. As áreas claras ao redor das células estão enriquecidas em cromo. Dentro das células de solidificação estão numerosas partículas de NbC. Os carbonetos são facilmente observados após ataque com Nital. As partículas de carboneto de nióbio formam-se a temperaturas superiores a 1300°C, durante a soldagem. Consequentemente, as partículas de NbC são muito estáveis. Além disso, estas partículas são as primeiras a se formar, durante a solidificação. Alguns destes carbonetos, nas paredes das células são de NbC. Porém, uma percentagem do carbono na liga é usada para formar estes carbonetos. Através do peso, os NbC, contém 11,1% carbono aproximadamente. Assim, durante a solidificação, quando as ligas e os carbonetos se formam, 3,5%Nb na liga requer aproximadamente 0,25%C para formar o NbC, restando 0,40%C na solda disponível para formar outros carbonetos ou fortalecer a matriz. Durante esfriamento, depois da formação de NbC, outros carbonetos compostos de Cr, Mo e Fe se formarão.



**Figura 16.** Resultado do ensaios de durezas a quente das ligas MC# 4, MC# 17 e o aço SAE 4340.

O MC# 4 contém mais de 5% Cr e 1,0% Mo, o qual certamente apresentará endurecimento secundário. Avaliando um grupo de corpos de prova soldados e duplamente tratados a temperaturas que variam de 150°C a 650°C. O fenômeno de endurecimento secundário foi observado a aproximadamente 500°C, conforme mostra o gráfico na Figura 14. O conteúdo de austenita retida desta liga, medida por difração de Raio-X é de aproximadamente zero. Corpos de prova foram reaustenitizados e duplamente revenidos a 500°C. Estes CPs foram testados a altas temperaturas. O gráfico da Figura 16 apresenta estes resultados. Observa-se que os níveis de dureza reduziram lentamente entre as temperaturas de 150°C por 600°C.

#### 4 DISCUSSÕES

A principal diferença entre as ligas MC# 3 e MC# 8 reside no fato que o MC# 8 possui dureza superior ao MC# 3. Como, a nível de composição química estas ligas são semelhantes, a diferença está condicionada ao conteúdo de carbono das mesmas. A variação de dureza a quente, com o aumento de temperatura em °C, apresentaram valores semelhantes. Assim, para aplicações onde não ocorram necessidades de exposição a temperaturas elevadas, a liga MC# 8 passa a ser a opção mais adequada.

Em situações onde ocorra exposição a temperaturas elevadas, a MC# 3, passa então a ser a melhor opção.

Em aplicações onde a exposição a temperaturas elevadas é uma preocupação primária, o revestimento de Rolos novos passa a ser uma escolha favorável visando o aumento de performance. Geralmente, são fabricados os Rolos de laminação novos, em liga forjada, em aço SAE 4140 ou 4340. Estes aços têm dureza a quente relativamente deficiente, quando submetidos a pequenas elevações de temperaturas sofrem perdas apreciáveis nas propriedades mecânicas, conforme apresentado no gráfico da Figura 16. Após exposição a temperaturas acima de 200°C, estes aços começam a perder dureza e suas propriedades mecânicas. Após exposição a temperaturas de 500°C, o aço SAE 4340 sofre sensível perda dos níveis de dureza inicial.

O revestimento com aço inoxidável martensítico apresenta melhor resposta de dureza a quente que o aço SAE 4340, conforme comparação apresentada nos gráficos das Figuras 11 e 16. A dureza a quente baseada nas Composições químicas de aço para Trabalho a Quente é superior em relação aos resultados de dureza a quente dos aços ligados, conforme mostra o gráfico na Figura 16. Este é um importante fator a ser considerado e freqüentemente justificável para optar para Rolos novos revestidos com ligas MILL CLAD, visando aumento e garantia de performance.

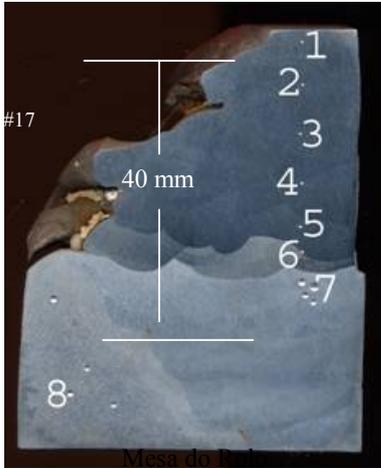
Comparando Rolos revestidos com ligas MILL CLAD com Rolos obtidos por processos convencionais forjados ou fundidos, seguidos de tratamentos térmicos de endurecimento superficial, verifica-se que: nos Rolos convencionais os tratamentos térmicos proporcionam uma camada limitada de endurecimento, com grandezas decrescentes no sentido da superfície para o centro da peça, estes valores tendem ainda a sofrer reduções quando expostos à temperaturas elevadas, podendo acarretar deficiência operacional com conseqüente sucata da mesma; estes fatos não são observados nos revestimentos MILL CLAD, que apresentam valores de dureza homogêneos no sentido da superfície para o centro e não apresentam variação quando expostos a temperaturas elevadas, nos níveis apresentados; estes revestimentos podem também ser recondicionados após atingirem o limite mínimo de diâmetro, o que é considerado impraticável para o caso dos Rolos convencionais.

Ambas as ligas MC# 4 e MC# 17, são a nível de composição química baseada nos aços para Trabalhos a Quentes, as quais exibirão endurecimento secundário. A liga MC# 4 contém mais carbono e nióbio que o MC# 17, possuindo maiores níveis de dureza que o MC# 17. A liga MC# 4 tende a ter maior resistência ao desgaste que o MC# 17, devido ao grande volume de fração de carboneto na solda. A liga MC# 17 é ligeiramente mais resistente a temperaturas elevadas, como apresentado nos gráficos anteriores. Ambas estas ligas são excelentes opções para uso a exposição sob temperaturas elevadas.

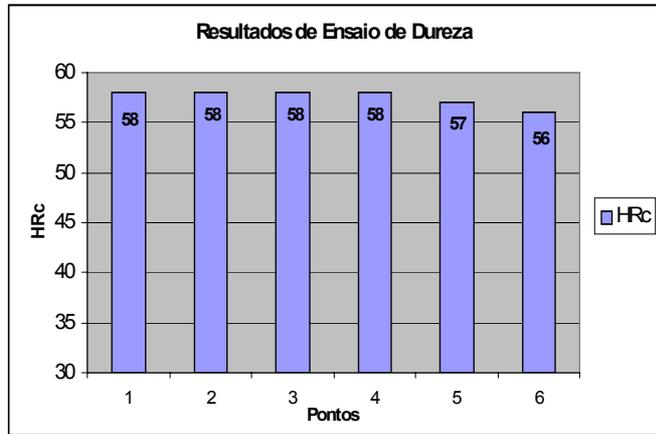
A Figura 17 apresenta o resultado de ensaio de dureza em amostra cortada, após soldagem de revestimento MC# 17 na mesa de Rolo. Verifica-se a homogeneidade da dureza no sentido da profundidade, da superfície para o centro do Rolo, numa espessura de 40 mm. Na Figura 18 observam-se os resultados de dureza, ao longo da superfície da mesa, em revestimento do Tipo MC# 17, em Rolo Puxador para indústria siderúrgica.

Atualmente, visando correlacionar os parâmetros avaliados e características de resistência à abrasão, a BT vem preparando corpos de prova revestidos nas ligas MILL

CLAD e ligas similares oferecidas pelo mercado nacional, os quais estão sendo submetidos a uma série de ensaios, cujos resultados serão posteriormente apresentados. As Figuras 19 e 20 apresentam fases desta preparação, respectivamente, soldagem das ligas e retiradas de corpos de prova.



**Figura 17.** Resultado de dureza em amostra cortada de revestimento do Tipo MC# 17, visto em toda a profundidade da solda, depositado em mesa de Rolo Puxador para indústria siderúrgica.



**Figura 18.** Resultados do ensaio de dureza.



**Figura 19.** Soldagem das amostras sobre o Rolo Teste para execução de testes atuais.



**Figura 20.** Retirada dos corpos de prova das amostras para os ensaios, referentes a Figura 17.

## 5 CONCLUSÕES

1. Controles apurados durante a soldagem, de temperatura de pré-aquecimento e de temperatura de interpassas, resultarão em endurecimento uniforme ao longo da

mesa e no sentido da espessura, minimizando as tensões e evitando surgimento de trincas e poros;

2. A resistência à abrasão das ligas de revestimentos MILL CLAD é melhorada através da incorporação de carbonetos e sua correspondente fração volumétrica. O mais popular dos carbonetos é o de cromo. O aumento do teor de carbono e o de cromo, assim como outros elementos adicionais: Nb, V, W, Mo, etc. acarretam, conseqüentemente, em um aumento desta fração volumétrica dos carbonetos; O controle térmico do processo de soldagem os tratamentos térmicos posteriores influenciam diretamente no volume, tamanho, tipo e distribuição destes carbonetos;
3. Comprova-se que as ligas MILL CLAD apresentam propriedades e características aplicáveis para revestimentos de Rolos e Cilindros, tanto na recuperação, quanto na fabricação de novos componentes, as quais deverão ser avaliadas e especificadas de acordo com as necessidades e fatores operacionais a cada aplicação;
4. Tratamentos térmicos efetuados com temperaturas fora dos valores especificados e padronizados, acarretam transformação total da austenita retida para martensita revenida, alterando as propriedades e características originais;
5. Rolos convencionais fabricados em aços ligados, endurecidos por tratamento termico, apresentam endurecimento decrescente com a espessura, além de sofrerem degradação com a exposição a temperaturas elevadas. Este fato não ocorre com os revestimentos duros, depositados por soldagem. Resultando em menor índice de intervenções operacionais e aumentando a performance e os custos.

## REFERENCIAS

- 1 XXI Encontro Nac. de Tecnologia de Soldagem – Bálamo, De Mello, Scotti – 1995;
- 2 Kotecki e Ogborn, Welding Journal – 1995/agosto;
- 3 The Timken Company, Dennis W.Hetzner: 'Roll Repair by Submerged Arc Welding';
- 4 A.S.M. - "Hardfacing by Welding", Metals Handbook, 8ª Edição, Vol.6, Welding and Brasing, 1971.