

O DESENVOLVIMENTO DA NITRETAÇÃO DE FERRAMENTAS DE FORJAMENTO A QUENTE POR “CROSS-ROLLING”¹

*Bidá, A. G.*²
*Vendramim, J. C.*³
*Mandariaga, C. A.*⁴
*Nunes, M.*⁵

Resumo

Este trabalho descreve a nacionalização da etapa de nitretação da fabricação de ferramentas utilizadas na operação de forjamento com rolos laminadores pelo processo denominado "cross wedge rolling", ou simplesmente "cross rolling".

A Forjaria da empresa Eaton Ltda., utiliza atualmente uma máquina de conformação a quente por "cross rolling", com ferramentas fabricadas em aço H13 para produzir eixos carretéis em aço baixa-liga.

Os rolos laminadores eram, anteriormente, importados diretamente do fabricante do laminador, na República Tcheca, prontos para a utilização. Em função do desgaste da superfície e da necessidade subsequente de regravações das ferramentas, esforços foram empreendidos para o desenvolvimento de empresas brasileiras nos serviços da cadeia de produção de uma ferramenta deste tipo: usinagem, tratamento térmico e nitretação.

A tecnologia canadense Nitrex® de nitretação a gás controlada e automática, em operação no Brasil com o consórcio das empresas Combustol - Nitrex®, conseguiu reproduzir os mesmos resultados observados na ferramenta importada, contribuindo, assim, para o sucesso deste projeto.

Palavras-chave: “cross rolling”; forjamento; nitretação; ferramenta.

- 1) 2.º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes.
- 2) Eng.º Metalurgista, M.Sc. – Engenharia da Forjaria, Eaton Ltda. – Div. Transmissões.
- 3) Eng.º Metalurgista, M.Sc. – Engenharia e Marketing, Combustol Indústria e Comércio.
- 4) Eng.º Metalurgista – Produção Nitretação, Combustol Indústria e Comércio.
- 5) Aluno de pós-graduação – Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Unicamp.

1. Introdução

O processo de conformação plástica, pelo qual um forjado ou pré-forma é obtido pela ação de ferramentas na forma de segmentos de cunha, fixadas em cilindros ou placas, é denominado “cross rolling”, ou “cross wedge rolling (CWR)”. A deformação é promovida pelo movimento tangencial de uma cunha em relação à outra, com o forjado estando sujeito entre tais cunhas. Diversas geometrias têm sido propostas para este processo, como descrito por Fu e Dean ^[2]. As configurações mais utilizadas são apresentadas na Figura 1.

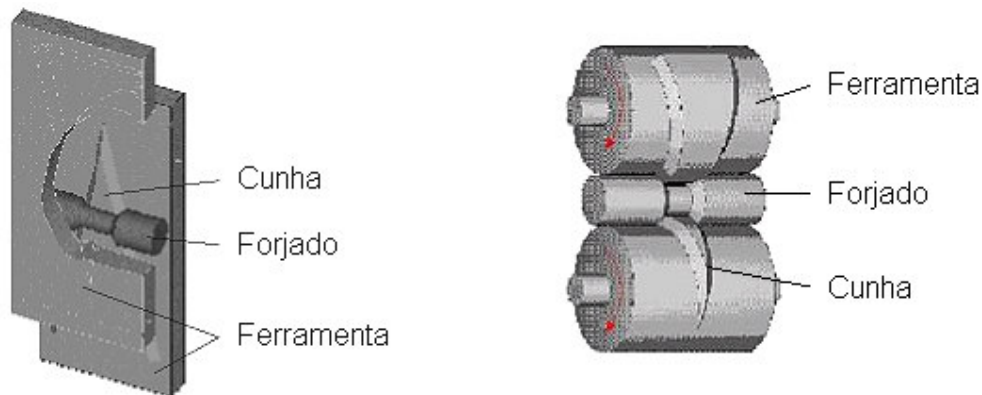


Figura 1: Configurações básicas de máquinas para CWR. ^[2]

Comparado aos processos de manufatura tradicionais, tais como usinagem, forjamento e processos de fundição, CWR apresenta características únicas e inovadoras. ^[3] Estas incluem:

- **Maior produtividade:** Uma ou mais peças podem ser produzidas em cada volta dos rolos. Se a geometria do produto não é extremamente complexa, pares podem ser feitos em uma operação, utilizando-se ferramentas simétricas. Normalmente, os rolos giram com velocidade de 10 a 30 RPM, e sendo assim, no mínimo de 10 a 30 peças podem ser produzidas por hora. A produtividade do processo CWR é normalmente 5 a 20 vezes maior do que a usinagem e o forjamento convencional. ^[3]
- **Melhor utilização do material:** No processo CWR, menos do que 10% do material bruto é desperdiçado em corte de pontas e esmerilhamento. Geralmente, 40% do material é desperdiçado em processos de usinagem (isto é, corte de metal) na forma de cavacos. Sendo assim, CWR pode reduzir consideravelmente os gastos com matéria prima. ^[3]
- **Melhor qualidade do produto:** CWR é um processo de conformação do metal, cuja forma desejada do produto é alcançada por deformação plástica do material em uma temperatura elevada. Em CWR, a granulometria final menor é obtida, o que melhora as propriedades do produto final. ^[3]
- **Melhorias ambientais:** Comparado ao forjamento, CWR produz menos barulho e agressões ao meio ambiente, pois materiais de consumo, como líquidos de resfriamento, não são necessários. ^[3]
- **Automação e redução de custos:** No processo CWR, a conformação, o acabamento superficial e o corte de pontas são automaticamente realizados

em uma única volta. Isto reduz acentuadamente o número de trabalhadores, máquinas auxiliares e área útil necessária para fabricar o produto. [3]

- Menor dissipação de energia: No processo CWR, a matéria prima está, normalmente, na forma de barras longas que são continuamente alimentadas. Desde que apenas o comprimento correspondente a um tarugo é aquecido por vez, pouca energia é desperdiçada. [3]

Em condições normais de processo, com relação à produtividade, observa-se uma perda de 20% a 40% relativa ao carregamento da máquina e ao processo de aquecimento, e mesmo assim, ganhos de 10 vezes são normais quando comparados aos processo de forjamento convencionais de eixos. O mesmo pode ser citado com relação ao rendimento metálico, uma vez que a produção de eixos acabados pelo processo CWR requer perdas por ponta maiores, porém pode-se observar ganhos de até 25% em relação aos processos de forjamento convencionais. A Figura 2 apresenta uma comparação entre um eixo produzido pelo processo CWR e pelo processo convencional de forjamento.

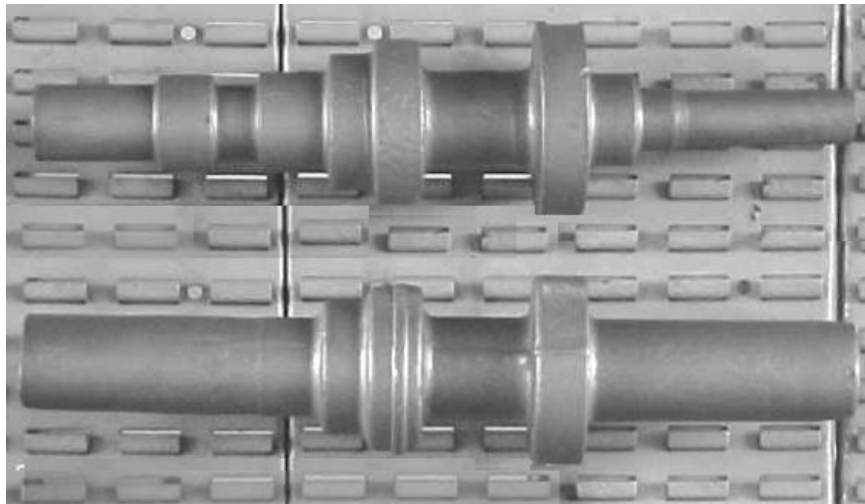


Figura 2: Comparação entre o forjado produzido pelo processo CWR (acima) e o forjado convencional, produzido em recalçadora. [4]

Devido a estas vantagens, a técnica CWR tem se tornado extremamente popular na Europa Oriental (origem do processo), na Ásia e em países como a Alemanha, Itália e Brasil. Nos Estados Unidos ainda não tem sido amplamente aceita e isto se deve ao fato de que a deformação e os mecanismos de falha do CWR são ainda muito desconhecidos, o que torna difícil a automação de projetos de ferramentas. [5] Contudo, diversos estudos sobre deformação [6] e sobre os mecanismos de falha [7] têm sido desenvolvidos, resultando em um alto valor tecnológico agregado a este processo.

No Brasil, a Forjaria da Eaton Ltda. – Divisão Transmissões, Valinhos, SP, utiliza o processo CWR para forjar eixos em aço baixa-liga para cementação, tais como CL18 (~ AISI 4120), DIN 25MoCr5 e DIN 20NiCrMoS6, sendo posteriormente tratados por normalização ou recozimento, para durezas na faixa de 160 a 190 HB. O equipamento é da marca Smeral, produzido na República Tcheca, no ano de 1999, modelo ULS100. A capacidade desta máquina é definida pela rotação (9 RPM) e pela maior bitola ($\varnothing 110$ mm).

Esse equipamento opera com alto grau de automação, sendo que a célula é composta por um “magazine” de barras, um forno de aquecimento por indução (com zonas de média e alta potência), um sistema de corte por cisalhamento a quente (1100 °C a 1250 °C) e pelo próprio rolo laminador. A Figura 3 mostra a montagem das ferramentas sobre os rolos laminadores (à esquerda) e a célula de forjamento (à direita).



Figura 3: Montagem das ferramentas sobre os rolos laminadores (à esquerda) e vista geral da célula de forjamento (à direita).^[5]

As ferramentas utilizadas inicialmente eram importadas do fabricante da máquina, na República Tcheca, já na condição final, isto é, prontas para serem utilizadas.

Estas ferramentas eram produzidas em material AISI H13 fundido, após um desbaste inicial eram temperadas e revenidas para uma dureza de 45 a 48 HRC (normalmente fornecidas com 42 a 44 HRC), e finalmente usinadas em um sistema especial de torneamento indexado. Após ajuste, a superfície das ferramentas era submetida a nitretação iônica para uma camada total da ordem de 0,40 mm mínimo (normalmente fornecidas com camadas de 0,30 a 0,35 mm).

Atualmente, o material das ferramentas é importado, na condição de anéis forjados. O restante do processo, totalmente feito no Brasil, é feito por desbaste em torno, tempera e revenimento para uma dureza de 48 a 52 HRC, e por último usinagem em fresa CNC. Após um ajuste no próprio equipamento de forjamento é realizada a nitretação com a tecnologia Nitrex®.

2. Técnica Experimental

Um conjunto completo de ferramentas foi fabricado no Brasil, com aço AISI H13 forjado, de composição química conforme tabela 1, com dureza de núcleo 48 a 52 HRc. A ferramentas deste conjunto tiveram a superfície modificada pela tecnologia Nitrex® de nitretação a gás controlada e automática no processo denominado Nitreg®.

Tabela 1: Composição química do aço AISI H13 (% em peso).

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.400	0.972	0.328	5.077	1.310	0.913

O processo Nitreg® de nitretação controlada e automática consiste no controle efetivo do potencial de nitrogênio para garantir adequada participação de nitrogênio na formação da camada branca de forma a não causar fragilização. [5] A Figura 4 descreve a seqüência operacional dessa nitretação, processo Nitreg®.

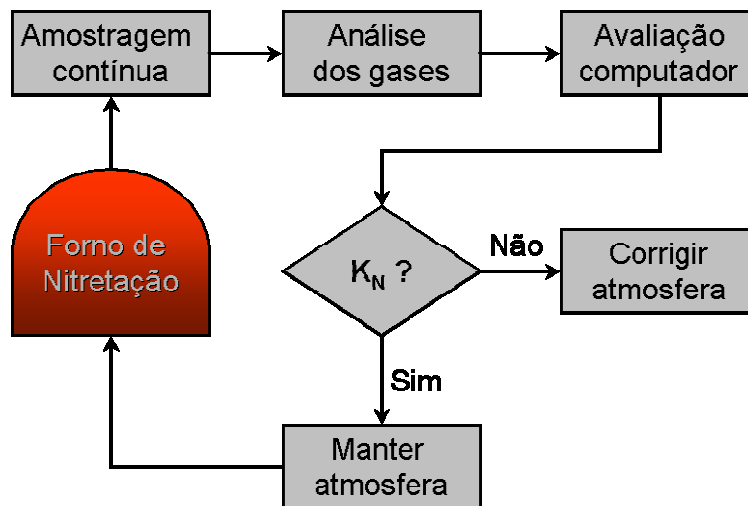


Figura 4: Fluxograma do processo Nitreg® de nitretação a gás controlada e automática. [8]

O processo de nitretação da ferramenta nacional, realizado pelo processo Nitreg®, consistiu em 4 etapas:

- Aquecimento e homogeneização da temperatura;
- Etapa inicial (com temperatura e tempo menores, e maior potencial de nitrogênio);
- Etapa final (com temperatura e tempo maiores, e menor potencial de nitrogênio);
- Resfriamento.

Este ciclo foi projetado de modo a propiciar a maior profundidade efetiva de nitretação, minimizando-se a formação de camada branca frágil (fase ϵ). Este tipo de processo também é conhecido como “processo floe”. [9]

A Figura 5 mostra a superfície dos rolos laminadores em processo de limpeza, antes da nitretação, por jateamento de microesfera de vidro. A Figura 6

mostra detalhes do carregamento dos rolos laminadores no dispositivo do forno de nitretação.



Figura 5: Limpeza da superfície dos rolos laminadores. ^[10]

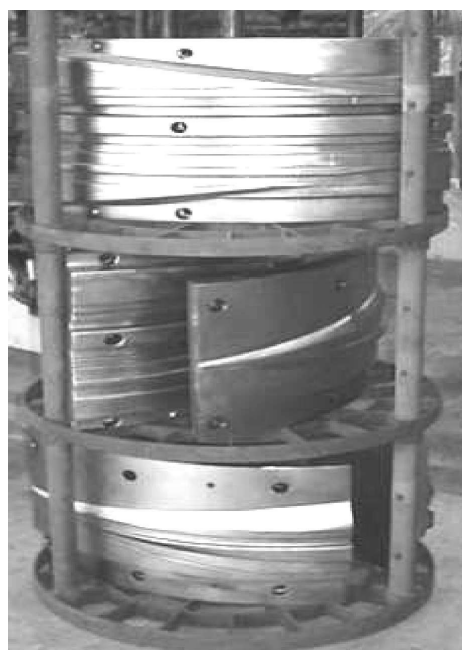


Figura 6: Montagem dos rolos laminadores no dispositivo do forno de nitretação. ^[10]

3. Resultados e Discussão

O exame por microscopia óptica de um corpo de prova retirado do aço do rolo laminador nacional e nitretado pelo processo Nitreg® mostrou a presença de uma fina e uniforme camada de compostos, ou “camada branca”, da ordem de 0,5 μm de espessura, e camada total de nitretação, ou camada de difusão, com profundidade de 0,220 mm, segundo norma DIN 50190. A Figura 7 apresenta a fotomicrografia desta superfície nitretada sinalizando a fina “camada branca”.

O exame de um corpo de prova retirado da ferramenta importada, recoberta pelo processo de nitretação iônica, apresentou uma “camada branca”, não uniforme,

de até 10 μm de espessura, e camada total de nitretação, ou camada de difusão, com profundidade de 0,330 mm, segundo norma DIN 50190.

Ressalta-se que em ambas as situações, tanto na ferramenta importada quanto na nacional, não foram observadas redes de carbonetos na camada de difusão.

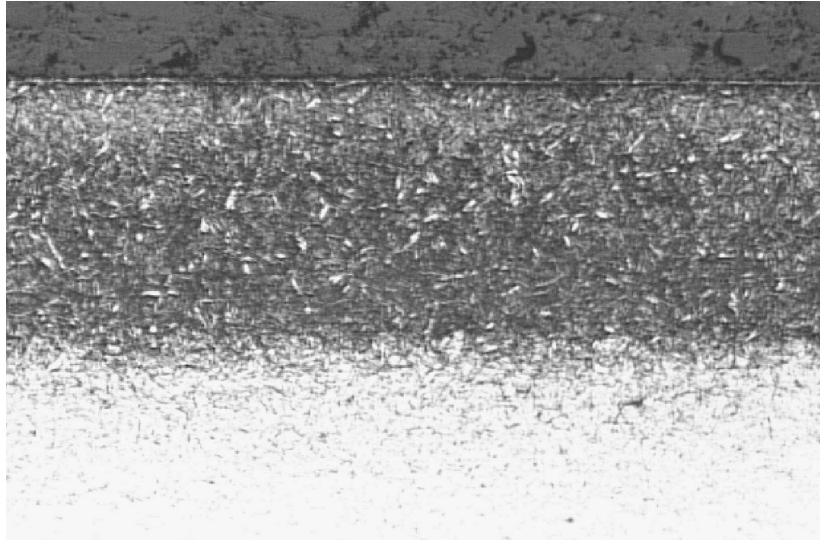


Figura 7: Fotomicrografia da superfície nitretada da ferramenta nacional recoberta pelo processo de nitretação gasosa controlada (Ataque: Nital, Ampliação: 100x).

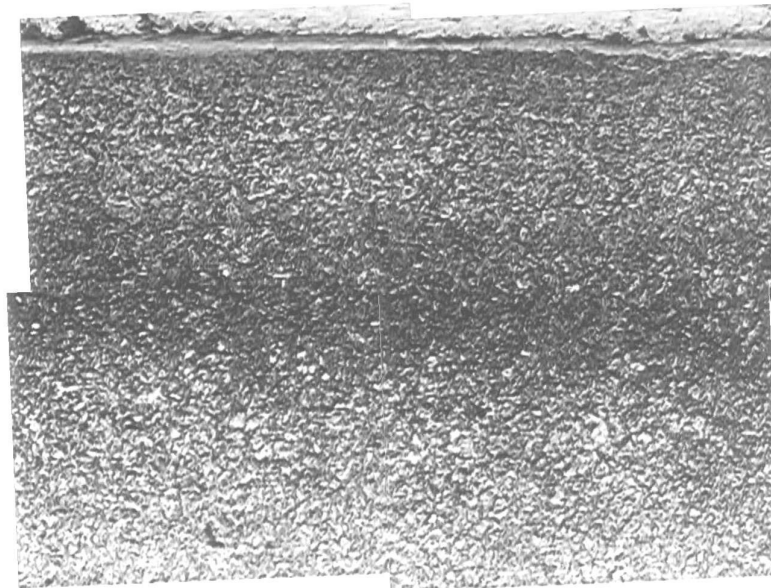


Figura 8: Fotomicrografia da superfície nitretada da ferramenta importada, recoberta pelo processo de nitretação iônica (Ataque: Nital, Ampliação: 100x).

A Figura 9 mostra o perfil de microdureza, indicando a profundidade NHT da camada de difusão, conforme norma DIN 50190, das amostras apresentadas nas Figuras 7 e 8.

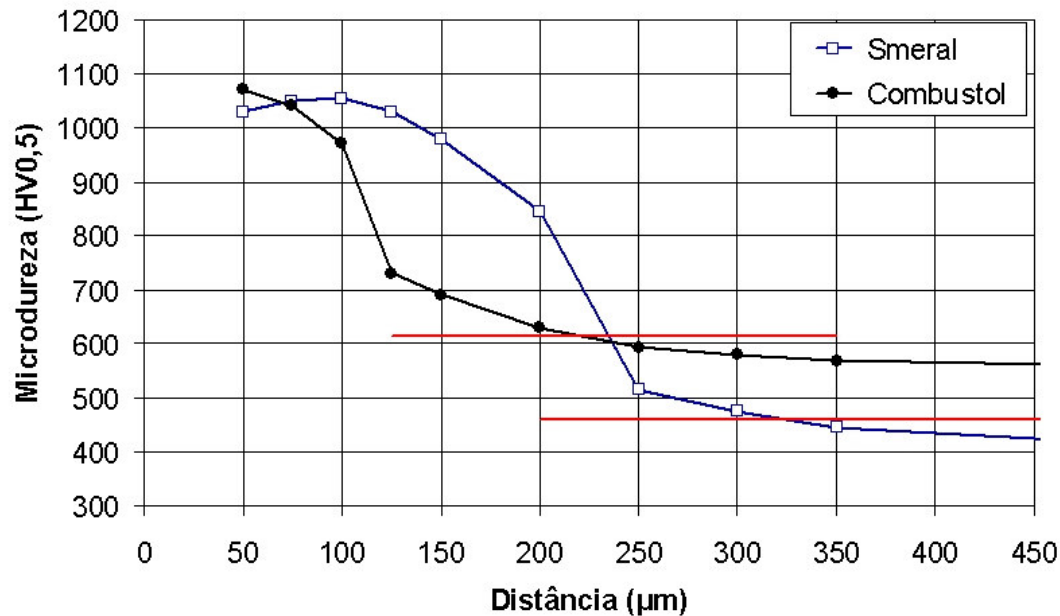


Figura 9: Comparação dos perfis de microdureza Vickers da camada nitretada, carga 500g, aço AISI H13, nitretado pela Combustol (processo Nitreg®) e pela Smeral (nitretação iônica).

O perfil de microdureza da Figura 9 revela, para a ferramenta nitretada pelo processo Nitreg® elevada dureza à profundidade de 0,100 mm, ao contrário da ferramenta importada, que apresentou perda de dureza a partir de valores menores que 0,100 mm, sendo este fato importante para garantir o bom desempenho da superfície da ferramenta.^[11]

Comparando-se o desempenho em termos de vida de forjamento, a ferramenta nacional atingiu uma vida de 95.000 peças forjadas por afiação, enquanto a ferramenta importada apresentou uma vida de 65.000 peças forjadas por afiação.

4. Conclusão

Este projeto de construção e manutenção dos rolos laminadores no Brasil atingiu o seu objetivo básico: a nacionalização deste insumo. Em termos técnicos, superou a desempenho da ferramenta importada. Neste ponto, a colaboração técnica do fornecedor de nitretação foi fundamental, destacando-se:

- Camada de difusão equivalente à ferramenta importada, mesmo com o aumento da dureza de base.
- Controle da composição e dimensão da camada branca, inexistente na ferramenta original.
- Elevada dureza a profundidades de até 0,100 mm, ao contrário da ferramenta importada, que apresentava perda desta propriedade.

Referências bibliográficas

- [1] FU, X. P.; DEAN, T. A. *Past developments, current applications and trends in the cross wedge rolling process*. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 33, n. 3, p. 367 – 400, June 1993.
- [2] Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU. Fields of Activity and Contacts. Department of Bulk Metal Forming. **Area of Cross Rolling Application**. Acesso em: 30 de abril de 2003. Disponível em: http://www.iwu.fhg.de/german/gebiete/abt70/englisch/querw_eng.html
- [3] DONG, Y.; LOVELL; M.; TAGAVI, K. *Analysis of interfacial slip in cross-wedge rolling: an experimentally verified finite-element model*. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 80 – 81, p. 273 – 281, August 1998.
- [4] Eaton Ltda. Divisão Transmissões. **Forjaria**, Valinhos, SP, Brasil, 2003.
- [5] LI, QIANG; LOVELL, M. R.; SLAUGHTER, W.; TAGAVI, K. *Investigation of morphology of internal defects in cross wedge rolling*. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 125 – 126, p. 248 – 257, September 2002.
- [6] PATER, Zb., *A study of cross rolling process*. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 80 – 81, p. 370 – 375, August 1998.
- [7] PATER, Zb.; WEROŃSKI, W.; KAZANECKI, J.; GONTARZ, A. *Study of the process stability of cross wedge rolling*. **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 92 – 93, p. 458 – 462, August 1999.
- [8] LILIENTAL, W.; MORAWSKI, K. *Principle of automatic controlling gas nitriding by nitrogen potential*. **Technical Publication**; Nitrex Metal Inc; 2000.
- [9] PYE, D. An Introduction to Nitriding. In: **Practical Nitriding and Ferrite Nitrocarburizing**. cap. 1, p. 9, Ohio: ASM International, 2003.
- [10] Combustol Indústria e Comércio Ltda; **Nitretação**, São Paulo, SP, Brasil, 2002.
- [11] LILIENTAL, W.K.; TYMOWSKI, G.J.; TARFA, N. *Bringing out the best properties of nitrided layers through controlled gas nitriding*. **Technical Publication**, Nitrex Metal Inc.; 1999.

Abstract

This work presents the nationalization of cross wedge rolling tools, with special attempt to the relevance of the nitriding treatment in the manufacturing of these tooling.

Eaton Valinhos Forge Shop uses a cross rolling machine, with tools manufactured with steel H13, to produce finished shaft forgings with low alloy steel.

The rolling tools were imported from the machine supplier, from Czech Republic, ready to use at the machine. Due to the high surface consuming, and the necessity of reshaping in Brazil, efforts were made to the development of local suppliers of the tool manufacturing chain: machining, heat treatment and nitriding.

The Nitrex® technology of gas controlled and automatic nitriding, delivered in Brazil with the partnership of Combustol and Nitrex®, achieved similar results observed in the imported tooling, contributing to the project results.

Key words: “cross rolling”; forging; nitriding; tooling.