

SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE DOS AÇOS INOX AUSTENÍTICOS BAIXO Ni E ALTO Mn. ¹

Paulo César dos Santos ²
Cláudio M. de Alcântara ³
José Wagner dos Santos ⁴
José Sérgio Ferreira ⁵
José Luiz Ramos de Carvalho ⁶

Resumo

O Centro de Pesquisa da Acesita possui um laminador piloto, marca FENN, Duo/Quadruo reversível, adquirido em 1997. O laminador é utilizado para obter amostras de tiras laminadas a quente e a frio, visando determinar propriedades de novas ligas em função de diferentes composições químicas.

Em 2000 foi iniciado o desenvolvimento do aço inox baixo Ni e alto Mn, denominado P300A, cuja composição química, com alto teor de N, era indicado pela literatura como de elevado risco para a qualidade superficial da BQ, devido à baixa ductilidade a quente e necessitar de altas cargas de laminação a quente.

Para reduzir os riscos de laminação a quente em escala industrial do P300A, conhecer seu comportamento na deformação a quente e a influência de variáveis de processo na qualidade do produto e na carga de laminação, houve a necessidade de se realizar a simulação de LTQ em escala piloto.

Como parte do desenvolvimento de novos produtos, aços da mesma série, P202A e P201A, foram desenvolvidos FMEA's (análise do modo e efeito de falhas) para minimizar riscos no processo industrial, sendo considerada como ação preventiva a simulação prévia da LTQ no Centro de Pesquisa, através de amostras de placas de corridas experimentais.

Palavra-chave: Laminação quente, simulação, Laminação piloto

(1) 41° Seminário de Laminação Processos e Produtos laminados e revestidos-ABM,26 a 228 de outubro de 2004, Joinville SC, Brasil.

(2) *Técnico em Pesquisa – Acesita S.A*

(3) *Técnico em Pesquisa – Acesita S.A*

(4) *Técnico em Pesquisa – Acesita S.A*

(5) *Engenheiro Metalurgista – Acesita S.A*

(6) *Engenheiro Metalurgista – Acesita S.A*

1. Introdução

No ano 2000 a Acesita iniciou o processo de desenvolvimento dos aços inoxidáveis austeníticos com baixo teor de Ni, sendo produzida uma corrida experimental do aço P300A, com composição química da Tabela I.

Dando continuidade a esta linha de pesquisa foi desenvolvido, a partir de 2002, o aço P202A, tabela I, visando exportação de BQ para o mercado Chinês.

Em 2003 a Acesita iniciou o desenvolvimento do aço P201A, tabela I, também para exportação de BQ para o mercado Chinês.

Quando do desenvolvimento do aço austenítico inox baixo Ni e alto Mn, denominado P300A, cuja composição química, com alto teor de N, era indicado pela literatura como de elevado risco para a qualidade superficial da BQ, devido à baixa ductilidade a quente e possuir altas cargas de laminação a quente. Houve a necessidade de se executar a simulação a quente em escala piloto, para reduzir os riscos de laminação a quente em escala industrial com isso conhecer seu comportamento na deformação a quente e a influência de variáveis de processo na qualidade do produto e na carga de laminação.

Como parte do desenvolvimento dos novos produtos: P202A e P201A foram desenvolvidos FMEA's (análise do modo e efeito de falhas) para minimizar riscos no processo industrial, sendo considerado como ação preventiva a simulação de laminação de tiras quente no laminador piloto do Centro de Pesquisa, utilizando amostras de placas de corridas experimentais destes aços, foi desenvolvido um procedimento para teste de simulação da LTQ

O Centro de Pesquisa da Acesita possui um laminador piloto, marca FENN, Duo/Quadruo reversível, adquirido em 1997. O laminador é utilizado para obter amostras de tiras laminadas a quente e a frio, visando determinar propriedades de novas ligas em função de diferentes composições químicas.

A simulação da LTQ foi realizada para as 3 ligas, com o objetivo de reduzir riscos para a qualidade do produto e processo de fabricação.

Tabela I - Tipo de aço, número da corrida e composição química (%) das ligas simuladas.

Aço	Data de produção	Corrida	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	N ppm
P300A	13/10/00	006959A	0,046	7,41	0,72	0,027	0,001	16,13	1,51	2,92	1836
P202A	19/12/02	207985C	0,064	7,06	0,51	0,026	0,0013	15,10	4,15	1,70	455
P201A	12/08/03	305388A	0,099	9,08	0,52	0,040	0,0013	15,45	1,11	1,72	1093

1. Desenvolvimento

Processos piloto e industrial de laminação a quente

Os principais equipamentos do Centro de Pesquisa para simulação da LTQ são:

Laminador piloto do Centro de Pesquisa

O laminador possui sistema de operações controlado por supervisor, com aquisição de cargas de laminação por passe, temperatura da tira na entrada e saída do laminador. As suas principais características são apresentadas abaixo.

Item	Especificação
Marca	FENN – Modelo 4-085
Tipo reversível	Duo/Quadruo - Laminação a Quente e a Frio
Capacidade máx. de força separadora	136 t
Espessura inicial máx. da amostra	40 mm
Espessura final mínima	0,15 mm
Largura máxima	150 mm
Mecanismo de ajuste	02 cilindros hidráulicos
Velocidade máxima	15,2 m/min
Tempo máx. reversão e posicionamento	6 s
Motor	Vector - 75HP / 1750rpm



Figura 1 – Visão geral do laminador piloto do Centro de Pesquisa

Fornos para simulação

Item	Aquecimento	Reaquecimento
Marca	Combustol MF 1005-01	EDG F-1200
Aquecimento	Elemento global	Resistência
Temperatura máxima	1400°C	1200°C
Controle de atmosfera	Sim – diluição com N ₂	Não
Altura	230 mm	250 mm
Largura	280 mm	250 mm
Profundidade	600 mm	1000 mm

Uma vista geral da seqüência de laminação é mostrada na figura 2.

Retirada da amostra do forno - Entrada do laminador - Saída do laminador

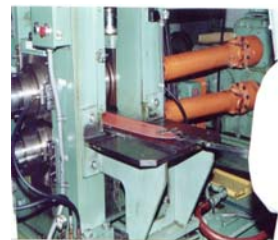
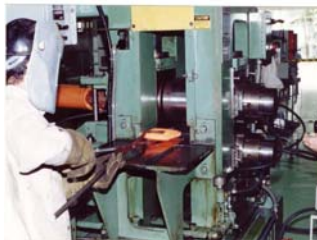


Figura 2 – Foto de etapas da laminação a quente no Centro de Pesquisa

Laminação de Tiras a Quente da Acesita

A placa com espessura de 200mm e largura de 1040 a 1560mm e peso máximo de 25 t é aquecida em fornos “walking beam” à temperatura, de 1100 a 1260°C, com tempo de encharque da ordem de 30 minutos.

Após o aquecimento, a placa é descarepada por jato de água com alta pressão e posteriormente desbastada até a espessura de aproximadamente 28mm em laminador desbastador reversível, com 7 a 9 passes.

A laminação de acabamento é realizada no laminador reversível Steckel, com 5 a 7 passes, obtendo-se espessura final de 2,85 a 12,70 mm.

Quando necessário, a tira é resfriada através de sprays de água antes do bobinamento.

Fluxograma geral do processo de LTQ da Acesita de aços inoxidáveis



Figura 3 –Fluxograma geral do processo de LTQ da Acesita de aços inoxidáveis

Procedimento para simulação da LTQ de novos produtos

O fluxograma geral do processo de simulação da LTQ é apresentado na figura 4.

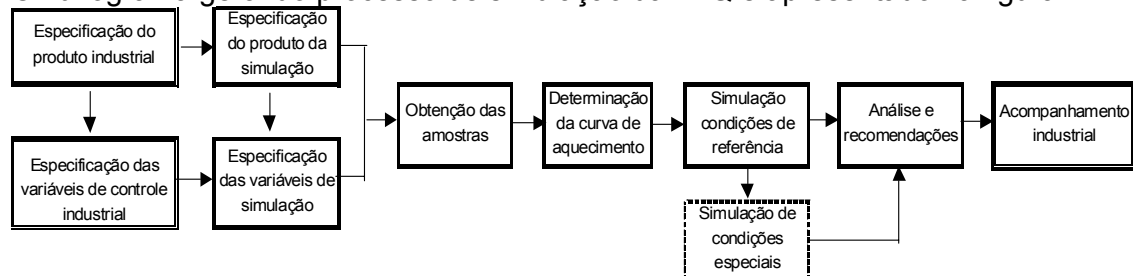


Figura 4. Macrofluxo do processo de simulação da LTQ no Centro de Pesquisa

Especificação do produto industrial e das variáveis de controle

Devem ser especificadas as seguintes características do produto: Composição química, espessura e largura da bobina e tendência de qualidade superficial de produtos similares. Devem ser especificadas, dentre outras, as seguintes variáveis de controle do processo industrial: Temperatura de aquecimento da placa, tempo de

encharque, atmosfera do forno, plano de passes, temperatura de recuperação na laminação de acabamento, tipo de resfriamento da tira.

Especificação da tira e das variáveis de simulação

Tira

O produto da simulação, sob a forma de tira, tem as seguintes dimensões: espessura mínima = 1,0mm (limitação de manuseio); comprimento máximo = 800mm (limitação do forno de reaquecimento); largura máxima de 150mm (limitação da cadeira de laminação).

A espessura é definida em função da espessura da BQ industrial e da deformação máxima do laminador piloto, uma vez que a espessura máxima da amostra de placa é 40mm. A espessura típica é de 2,5mm.

O comprimento é definido em função dos tratamentos posteriores, tais como laminação a frio e ensaios mecânicos e metalográficos. O comprimento típico é de 600mm.

A largura é definida em função da carga de laminação prevista, do tipo de aço e histórico de produtos similares, e dos tratamentos posteriores, tais como laminação a frio e ensaios mecânicos e metalográficos. A largura típica é de 80mm.

A tira pode ser decapada quimicamente para melhor visualização da qualidade superficial.

Variáveis de simulação

As variáveis passíveis de simulação são:

- Temperatura de aquecimento
- Tempo de encharque
- Teor de oxigênio do forno
- Plano de redução
- Carga de laminação
- Temperatura da tira durante a laminação
- Temperatura e tempo de reaquecimento da tira
- Resfriamento da tira (água, óleo ou ar)
- Pré-laminação

Obs. Não é disponível a simulação da descarepação antes e durante as deformações

Obtenção das amostras

Inicialmente é retirada uma amostra da seção transversal da placa 03, com aproximadamente 70mm de espessura. Esta amostra é seccionada em espécimes com dimensões típicas de 40 X 60 X 70mm, de forma que uma superfície e uma borda sejam as originais da placa, conforme esquema da figura 5

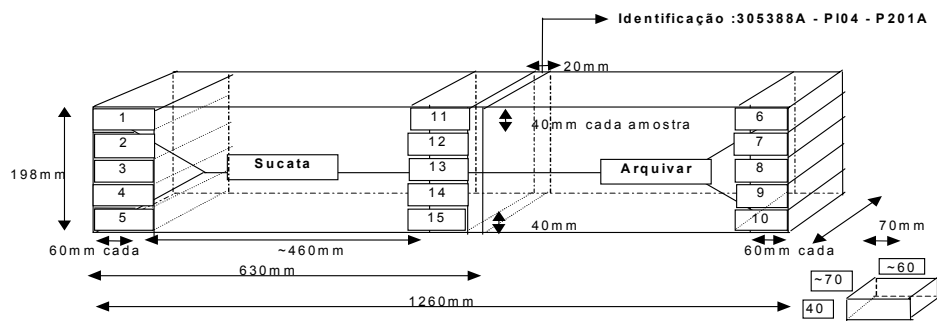


Figura 5 – Esquema típico para retirada de espécimes de amostra da placa do lingotamento contínuo para simulação da LTQ.

Determinação da curva de aquecimento

Para determinar o tempo de permanência do espécime no forno, assegurando que ele esteja adequadamente encharcado para a laminação a quente, é inserido termopar no centro da espessura do espécime, posteriormente colocado no forno na temperatura de aquecimento e acompanhada a curva (Temperatura x tempo), através de registradores de temperatura e aquisição de dados. Um exemplo típico da curva de aquecimento é mostrado na figura 6.

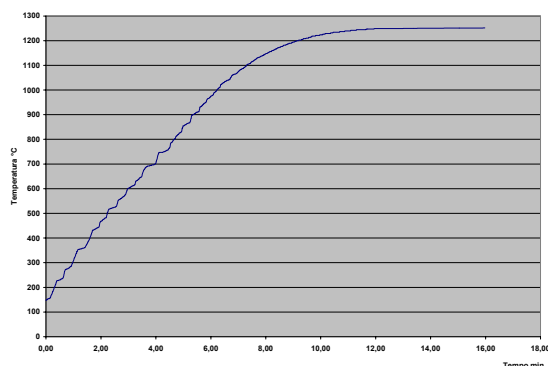


Figura 6 – Curva de aquecimento de espécime para simulação da LTQ – Aço P202A – Forno Combustol

Simulação das condições de referência e situações especiais

O processo de simulação é realizado com 4 operadores, sendo 1 para controle dos fornos de aquecimento e reaquecimento, abrindo e fechando portas e controlando os tempos; 2 para a laminação da tira, um de cada lado do laminador piloto; e 1 para controle do processo, através do supervisor.

Para assegurar o controle da temperatura da tira e simular a laminação de acabamento no Steckel, a tira é colocada no forno de reaquecimento a 1150 °C, durante 1 a 3 minutos, a intervalos regulares durante a laminação piloto.

Inicialmente é realizada simulação utilizando o processo considerado como padrão. No caso de serem observados problemas na qualidade da tira ou na carga de laminação, podem ser testadas situações especiais, tais como: aumento e/ou redução de tempos, temperaturas e variação do plano de passes para verificar a influência no resultado.

Recomendações e acompanhamento da produção industrial

Os resultados obtidos na simulação são apresentados ao solicitante, quando podem ser feitas sugestões para aprimoramento dos parâmetros do processo industrial. No caso de novos produtos é feito acompanhamento da laminação industrial, visando avaliar a eficácia da simulação e promover melhorias no procedimento.

Aplicação no desenvolvimento de aços baixo Ni e alto Mn

Os parâmetros utilizados para as simulações estão na Tabela II.

Tabela II – Parâmetros industrial e de simulação da LTQ de aços baixo Ni e alto Mn

Parâmetros		P300A	P202A	P201A
Especificação da BQ industrial	Espessura - mm	4,0	2,85	2,85
	Largura - mm	1040	1040 - 1240	1240
	Qualidade superficial	Isento de trincas de borda, lascas e esfoliações		
Especificação da BQ de simulação	Espessura - mm	4,0	2,85	
	Largura - mm	80	100	
	Qualidade superficial	Isento de trincas de borda, lascas e esfoliações		
Especificação do processo industrial	Espessura da placa - mm	200		
	Temperatura aquecimento -°C	1250		
	Tempo de encharque - min	30		
	Passes de desbaste – nº	7		
	Passes de acabamento – nº	5	7	
Especificação do processo de simulação	Espessura da amostra placa - mm	14 a 40	40	
	Temperatura de reaquecimento -°C	1200-1250-1300	1250	
	Tempo de encharque - min	0 - 20 - 50	30	
	Passes – nº	5 a 12	8 a 12	
	Temperatura de reaquecimento- °C	1070-1120- 1150	1150	
	Tempo de recuperação entre passes - min	0 a 3	2,5 - 3,0	
	Pré-laminação	Sim	Não	

Resultados obtidos para o P300A

Simulação da Laminação de Tiras a Quente

As tiras obtidas na simulação do P300A apresentaram elevada incidência de trincas de bordas e lascas de aquecimento. As variáveis que apresentaram correlação com os defeitos foram:

Pré-laminação, que consiste em deformar o espécime de 40 para 30mm, esfriar até a temperatura ambiente, reaquecer à temperatura de 1250°C e laminar para a espessura final de 4mm. A aparência típica das tiras com e sem Pré-laminação é mostrada na figura 8, onde se observa que a tira pré-laminada não apresentou a trinca de borda.

Redução do 1º passe. As trincas tendem a aumentar com o aumento da redução do 1º passe de desbaste, conforme figura 7, onde se observa ainda tendência de redução da trinca com o aumento da temperatura de aquecimento, indicando que o defeito não está relacionado ao fenômeno de fragilização dos contornos de grão com o aumento da temperatura.

Temperatura para início da trinca. Foi ainda observado que a trinca de borda inicia quando a temperatura da superfície da tira é menor que 1000°C. Também foi observado que o P300A exige cargas de laminação mais elevadas que o P304H em todos os passes.

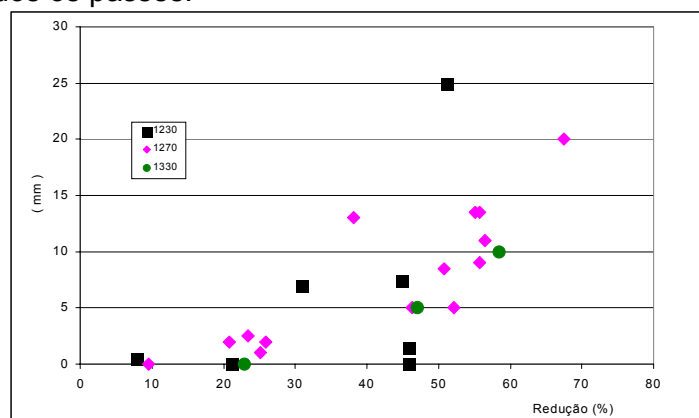


Figura 7 – Influência da redução no 1º passe e temperatura de encharque na intensidade das trincas – Aço P300A – Laminador do ECP

Resultado industrial

Foram laminadas 5 placas, conforme tabela III, onde se observa que, similarmente à simulação as BQ's apresentaram trinca de borda, ilustrada na figura 8. A BQ 03, mesmo sendo pré-laminada, apresentou ocorrência de trinca de borda fraca e foi a única aprovada quanto ao defeito lasca de aquecimento. A BQ 06 também foi pré-laminada, entretanto ocorreu parada de linha durante a laminação de desbaste, reduzindo a temperatura da tira. Foi ainda observado que as trincas somente ocorrem na laminação final, uma vez que os esboços estavam isentos da trinca.

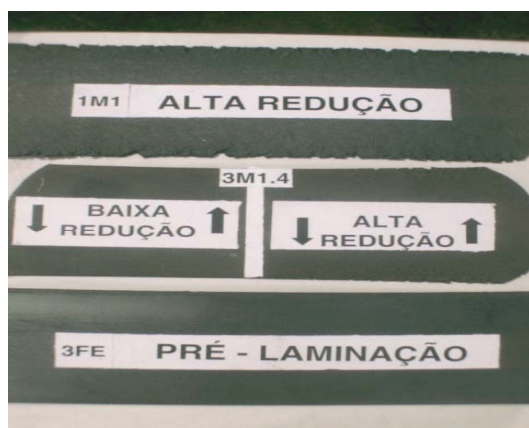
Tabela III – Resultados industriais do P300A na LTQ – Corrida 006959A

N.º da BQ	04	02	03	06	01
Espessura BQ (mm)	4,1	6,3	4,3	3,5	3,8
Pré-laminação	Não	Não	Sim	Sim	Não
Modo operação	Manual	Modelo	Modelo	Manual	Modelo
Uso de Edger	Não	Parcial	Sim	Sim	Sim
Passes desbaste	7	9	7	7	9
Espessura esboço(mm)	16,5	16,6	16,6	16,5	17,9
Passes Steckel	5	3	5	9	5
Temp. encharque (°C)	1268	1271	1234	1269	1274
Temp. fim desbaste (°C)	1018-1167	979-1152	1123-1177	991-1102	1086-1173
Temp. tesoura (°C)	1001-1085	980-1067	1024-1097	894-1010	975-1047
Tem. fim Steckel (°C)	794-950	927-969	802-957	723-847	839-1008
Trinca de borda BQ	Média	Fraca	Fraca	Forte	Média
Lascas na BQ	Desvio	Desvio	Aprovada	Desvio	Desvio

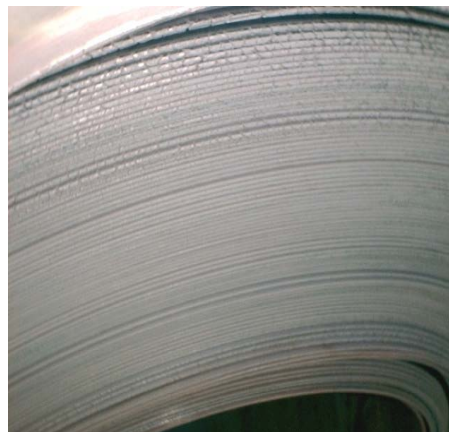
A confrontação dos resultados de simulação e a industriais mostrou que:

- Os defeitos ocorridos na simulação também ocorreram nas BQ's.

- As variáveis para minimizar a trinca de borda e lascas de aquecimento, observadas na simulação, também foram verificadas em escala industrial
- As cargas de laminação do P300A são superiores às do P304H, tanto na simulação, quanto na laminação industrial.



Tiras da simulação



BQ industrial

Figura 8 – Alta redução com trinca de borda. Baixa redução e pré-laminação sem trinca de borda e BQ com trinca de borda.

Resultados obtidos para o P202A e P201A

Simulação da LTQ

O aprendizado obtido com o P300A foi fundamental para simplificar a simulação do P202A e P201A

Foram utilizados os parâmetros do P304H, variando-se somente o plano de redução, com o objetivo de obter taxas de redução similares às da condição industrial, da seguinte forma:

Condição 1 - 12 passes de laminação, mantendo a forma da curva de deformação industrial no desbastador e Steckel, conforme figura 9.

Condição 2 - 8 passes de laminação, mantendo deformação similar ao laminador desbastador, conforme figura 9.

Condição 3 – 10 passes de laminação, mantendo deformação similar ao Steckel, conforme figura 9.

As tiras resultantes foram decapadas quimicamente e constatou-se que, para todas as condições simuladas, não ocorreram trincas de borda, lasca de aquecimento.

As cargas de laminação piloto do P201A foram ligeiramente superiores às do P202A, conforme figura 10

Estes resultados foram fundamentais para assegurar o baixo risco no processo industrial destes tipos de aço, tanto para a qualidade do produto quanto para o desempenho operacional.

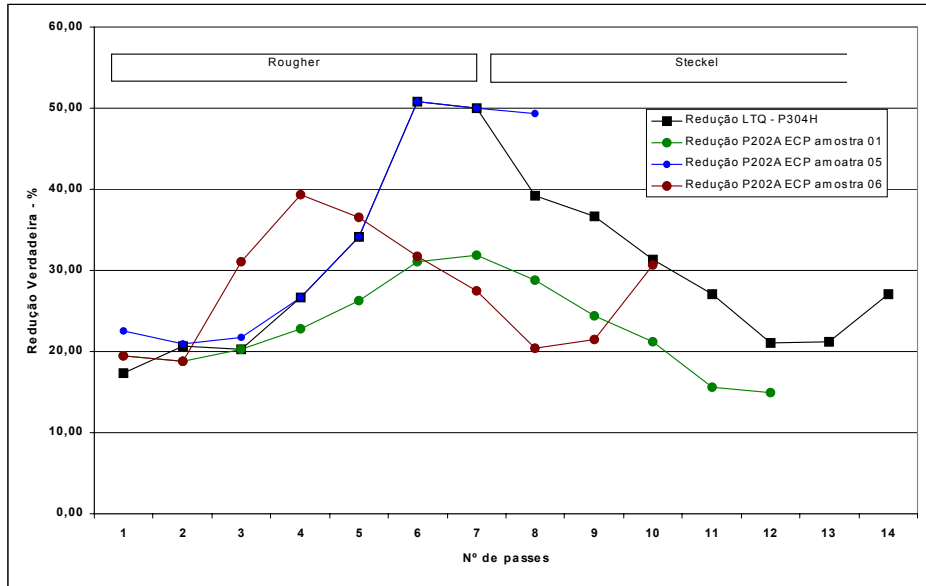


Figura 9 – Planos de passe utilizados para a simulação do P202A e P201A no ECP e plano de passe do P304H na LTQ

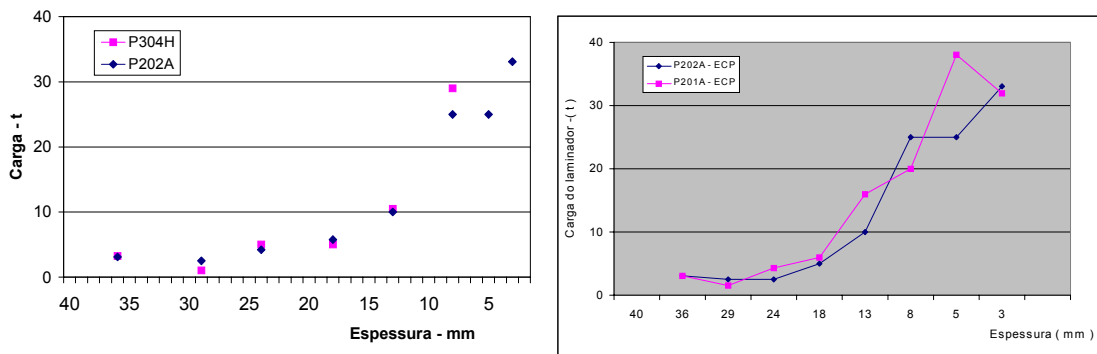


Figura 10 – Carga do laminador piloto para os aço P304H e P202A/ P202A e P201A em função da espessura objetivada.

Resultado industrial

Foram laminadas placas de P202A e P201A. Os principais parâmetros de LTQ estão na tabela IV.

Tabela IV – Processo industrial do P202A e P201A na LTQ

Variável	P202A	P201A
Espessura BQ -mm	2,85	2,95
Largura BQ - mm	1240	1240
Modo operação	Modelo	Modelo
Passes desbaste – nº	7	7
Espessura esboço(mm)	28,5	28,5
Passes Steckel – nº	7	7
Temp encharque - °C	1255	1255
Temperatura tesoura °C	1092	1080
Temp. bobinamento - °C	583	620

Os resultados obtidos foram:

- Não ocorreram trincas de borda e nem lasca de aquecimento nas BQ's, sendo similar aos resultados obtidos em escala piloto. As BQ's foram inspecionadas e aprovadas quanto aos defeitos lascas de aquecimento e esfoliação.
- As cargas de laminação do P201A foram ligeiramente superiores às o P202A, figura 11 e 12, similarmente aos resultados obtidos em escala piloto.

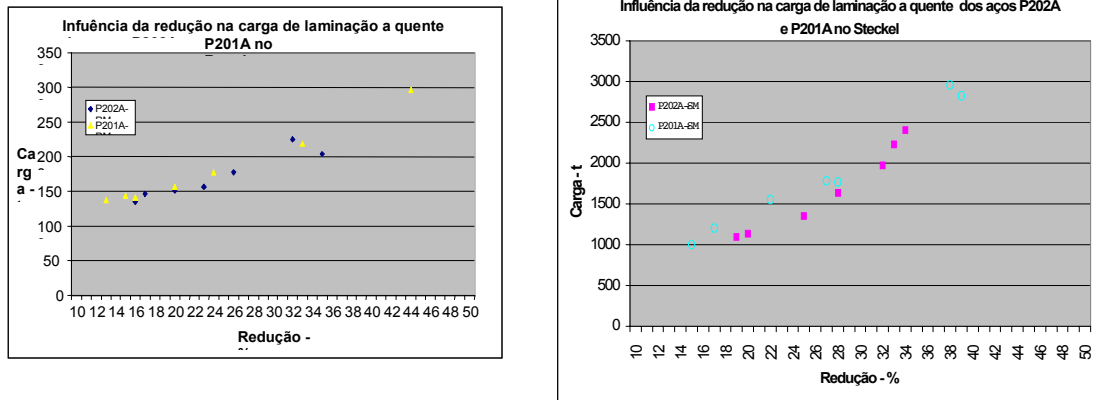


Figura 11 – Influência da redução na carga de laminação a quente dos aços P202A e P201A no Steckel e Desbastador

2. Conclusão

A tendência à trincas de borda, lascas de aquecimento, esfoliação e elevada carga de laminação, observadas durante a laminação piloto do P300A foi confirmada na produção industrial.

A boa qualidade superficial e cargas de laminação similares ao P304H, determinadas durante a laminação piloto dos aços P202A e P201A foram confirmadas na produção industrial.

Estes resultados confirmam a importância de simulação prévia à laminação industrial no desenvolvimento de novos produtos, com o objetivo de prevenir riscos para a qualidade do produto e equipamento industrial.

3. Bibliografia

1. CARVALHO, J.L.R. e outros. **Desenvolvimento do aço inoxidável austenítico baixo Ni - P300A** – RT10-210/2002
2. CARVALHO, J.L.R. e SANTOS, P.C. . **Anteprojeto para desenvolvimento do aço inoxidável - P202A** – RT10-275/2003.
3. CARVALHO, J.R.C. e SANTOS, P. C. **Anteprojeto para desenvolvimento do aço inoxidável - P201A** - RT10-321/2003

PROCESS OF HOT ROLLING SIMULATION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH LOW NI AND HIGH MN. ¹

*Paulo César dos Santos*²
*Cláudio M. de Alcântara*³
*José Wagner dos Santos*⁴
*José Sérgio Ferreira*⁵
*José Luiz Ramos de Carvalho*⁶

Abstracts

At the Acesita's Research Center we have a pilot rolling mill, produced by FENN, reversible Duo/Quadruo, acquired in 1997. The rolling mill is used to produce samples of hot and cold milling, to determine properties of new leagues in function of different chemical compositions or process.

We started study, at year 2000, the process of stainless steel with low Ni and high Mn, called P300A, whose chemical composition, with high N, was indicated for the literature as a problem to the superficial quality of the hot coil, due to low ductility at hot process and to need high loads of rolling.

To reduce its risks at industrial scale to produce the P300A and to know its behavior in the hot deformation and the influence of process variable at the product quality and the load of rolling, was necessary to simulate at pilot scale.

As part of the new products developments, steels of the same serie, P202A and P201A, had been developed (by FMEA - Failure Modes and Effects Analysis) to minimize risks in the industrial process, being considered as injunction the previous simulation of the hot rolling at the Acesita's Research Center, through samples of experimental plates.

Key-words: HOT ROLLING, SIMULATION, PILOT ROLLING

(1) 41° Seminário de laminação Processos e Produtos laminados e revestidos-ABM, 23 a 25 de outubro de 2004, Joinville SC, Brasil.

(2) Técnico em Pesquisa – Acesita S.A

(3) Técnico em Pesquisa – Acesita S.A

(4) Técnico em Pesquisa – Acesita S.A

(5) Engenheiro Metalurgista – Acesita S.A

(6) Engenheiro Metalurgista – Acesita S.A