

INVESTIGAÇÃO DO ÍNDICE DE MACROPUREZA EM TUBOS DE AÇOS ULTRA LIMPOS PARA PRODUÇÕES EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SEQÜENCIAMENTO DE CORRIDAS⁽¹⁾

Oswaldo Alves Ferreira Neto ⁽²⁾
Hélio de Rezende Manetta ⁽³⁾
Fabrício Batista Vieira ⁽⁴⁾
César Nery de Abreu ⁽⁵⁾
Camilla Pessanha Schiavo ⁽⁶⁾
Rubens Felipe Filho ⁽⁷⁾
Jean Carlos Cordeiro ⁽⁸⁾
Leonardo Luiz Siqueira Mathias ⁽⁹⁾

Resumo

Diversos fatores são capazes de afetar, de maneira significativa, o índice de macropureza de um aço, que é fortemente influenciado pela quantidade de inclusões carreadas do distribuidor para os veios durante o lingotamento contínuo. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do uso do tubo longo comum e de conicidade reversa com relação ao índice de macropureza para aços especiais durante as trocas de panela para diferentes níveis de aço no distribuidor. Para tanto, foram produzidas seqüenciais de aços especiais na aciaria da V&M do BRASIL S.A., utilizando o tubo longo comum e o tubo longo de conicidade reversa, em diferentes níveis de aço no distribuidor. Após a laminação, os tubos foram trefilados e inspecionados em aparelhos de ultra-som a fim de avaliar a macropureza em termos de Klp, que pode ser entendido como o somatório do comprimento de todas as inclusões encontradas dividido pelo volume (em dm³) do tubo inspecionado. A partir desse trabalho foi possível concluir que o tubo longo de conicidade reversa propicia o alcance de índices de macropureza bem maiores quando comparado ao tubo longo comum, sendo altamente recomendável na produção de aços especiais.

Palavras-chave: aciaria, tubo longo, macroinclusões

-
- (1) *Contribuição técnica a ser apresentada no XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 16 a 18 de Maio de 2005, Vitória-ES.*
- (2) *Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A.*
- (3) *Engenheiro Metalurgista, Gerente do Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A.*
- (4) *Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Departamento de Aciaria da V&M do BRASIL S. A.*
- (5) *Engenheiro, Departamento de Aciaria da V&M do BRASIL S. A.*
- (6) *Graduanda em Engenharia Metalúrgica, UFGM, estagiária do Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A.*
- (7) *Engenheiro, Divisão de Suprimentos Refratários da Vesuvius INC.*
- (8) *Técnico Industrial, Departamento de tubos automotivos e de precisão da V&M do BRASIL S.A.*
- (9) *Graduando em Engenharia Metalúrgica, UFGM, estagiário do Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A.*

1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que os índices de macropureza dos aços são influenciados pela quantidade de inclusões carregadas do distribuidor para o molde durante o lingotamento contínuo. Assim, diversos fatores relacionados à metalurgia no distribuidor são capazes de afetar, de maneira significativa, os índices de macropureza dos aços. Dentre eles, pode-se citar a capacidade de absorção de inclusões pelos pós de cobertura, o uso de barragens e diques, o nível de aço no distribuidor durante a operação de lingotamento incluindo as trocas de panela, a configuração do próprio distribuidor (formato delta, formato "T"), posição dos veios com relação ao centro do distribuidor (veios internos e veios externos), o uso de tubos longos convencionais e especiais, etc.

O tubo longo é uma peça refratária encaixada na parte externa do sistema de válvula gaveta de uma panela, cuja função principal é transportar o aço líquido da panela para o distribuidor, sem que o aço entre em contato com a atmosfera, evitando a sua reoxidação.

O tubo longo de conicidade reversa possui uma abertura de saída de maior diâmetro se comparado ao tubo longo comum e pode ser usado para uma abertura de panela em modo submerso sem risco de refluxo. Isso proporciona uma menor velocidade de saída, que acarreta um menor impacto do jato de aço sobre o próprio aço presente no distribuidor. O impacto também é minimizado sobre os vários elementos inibidores de fluxo, tais como diques, barragens e fundo do distribuidor, resultando em uma menor turbulência de todo o sistema e reduzindo a probabilidade de emulsificação de escória e aço. O tubo longo de conicidade reversa também assegura um menor risco de refluxo.

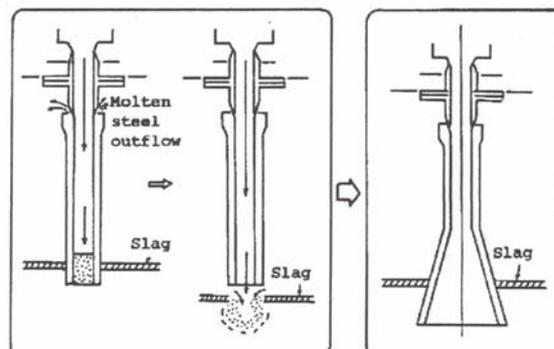


Figura 1. Tubo longo comum e esquema de sequenciamento em jato aberto (à esq.); tubo longo de conicidade reversa e sequenciamento em modo submerso (à dir.).

Dando continuidade a estudos anteriores, este trabalho tem por objetivo principal avaliar o índice de macropureza em tubos treilados de aços especiais, em termos de K_{lp}, levando-se em conta as influências da utilização do tubo longo comum e do tubo longo de conicidade reversa em diferentes condições de sequenciamento.

2 METODOLOGIA

Foram produzidas diferentes seqüenciais de aços especiais na aciaria da V&M do BRASIL S.A. As diferentes seqüenciais produzidas são descritas abaixo:

55334 a 55338: nessa seqüencial de cinco corridas, avaliou-se a influência do uso de tubo longo **comum** sobre a macropureza dos aços em diferentes níveis de aço no distribuidor durante as trocas de panela.

55339 a 55343: nessa seqüencial de cinco corridas, avaliou-se a influência do uso de tubo longo **de conicidade reversa** sobre a macropureza dos aços em diferentes níveis de aço no distribuidor durante as trocas de panela.

Após lingotamento de barras redondas e laminação contínua de tubos, estes foram trefilados e inspecionados em um aparelho de ultra-som a fim de avaliar sua macropureza.

O ensaio feito no ultra-som avalia a macropureza utilizando um programa computacional específico. A onda mecânica emitida pelo cabeçote do ultra-som permeia toda a parede do tubo analisado, caso uma inclusão esteja presente ocorrerá uma reflexão dessa onda na extensão de todo o seu comprimento. A onda refletida é captada pelo próprio cabeçote que fará a conversão de sua energia em sinais elétricos. O aparelho de ultra-som utilizará esses sinais elétricos constituindo um banco de dados para uso do software. Esse software calcula o índice K_{lp}, que pode ser definido como:

$$K_{lp} = \frac{\text{comprimento total das inclusões}}{\text{volume pesquisado (dm}^3\text{)}}$$

onde:

- comprimento total das inclusões: somatório do comprimento (L) de todas as inclusões;
- volume pesquisado: VT equivale ao volume total do tubo, CT/VT representa o índice K_{lp} em termos do comprimento total das inclusões dividido pelo volume total do tubo. VE equivale ao volume efetivo testado pelo equipamento; CT/VE representa o índice K_{lp} em termos do comprimento total das inclusões dividido pelo volume efetivo do tubo.

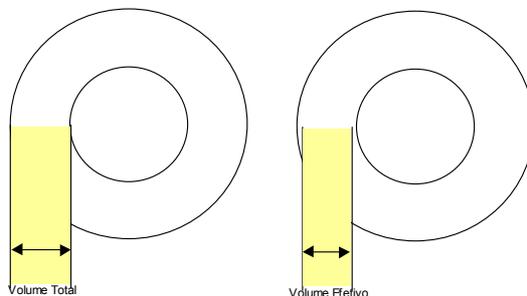


Figura 2. Representação esquemática de um tubo e seus volumes total e efetivo testados pelo ultra-som.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão representados os resultados de macropureza obtidos para as seqüenciais mencionadas acima. As regiões não relacionadas a barras produzidas e pertencentes às regiões de trocas de panela não foram avaliadas.

Corridas 55334 a 55338

Os resultados em termos de Klp para os veios externos e internos estão dispostos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. As Figuras 3 e 4 apresentam os gráficos relativos às tabelas 1 e 2. Os valores dados como 1 representam apenas uma estimativa, com o objetivo de destacar a macropureza nas regiões de troca de panelas.

Tabela 1. Resultados de Klp para tubos oriundos de barras pertencentes aos veios externos da seqüencial 55334 a 55338 utilizando-se o tubo longo comum nas trocas de panela.

Corrida	55335				55334				55336				55337				55338																						
barra	401	402	403	404	405	401	402	403	404	405	401	402	403	404	405	401	402	403	404	405	406	407	406	401	402	403	404	405	406	407									
Amostra	Não amostrado				Não amostrado				Não amostrado				330	331	332	339	340	341	Não amostrado				342	343	344	348	383	Não amostrado											
Comp. lingotado, m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	153,86	157,72	161,58	164,69	167,8	170,91	181	191	201	211	221	231	233,97	237,03	240,09	243,64	250,74	261	271	281	291	301	311	
KLP médio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,31	27,9	25,83	7,43	62,85	4,35	1	1	1	1	1	1	54,94	30,18	30,67	32,55	33,2	1	1	1	1	1	1	1

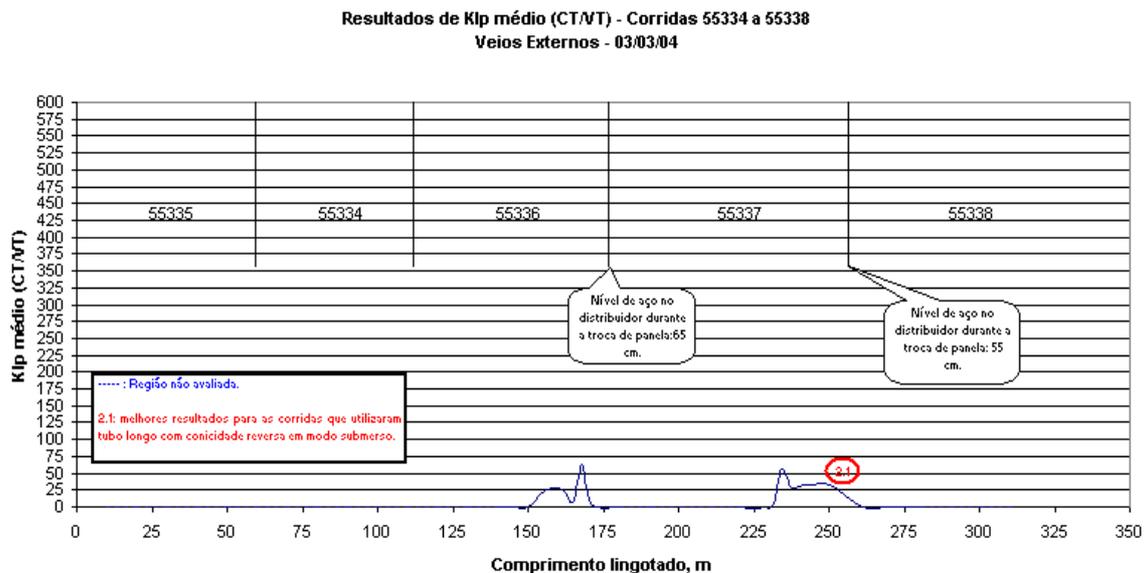


Figura 3. Representação gráfica dos resultados de Klp para tubos provenientes de barras lingotadas de veios externos, utilizando-se o tubo longo comum nas trocas de panela.

Tabela 2. Resultados de Klp para tubos oriundos de barras pertencentes aos veios internos da seqüencial 55334 a 55338 utilizando-se o tubo longo comum nas trocas de panela.

Corrida	55335				55334				55336				55337				55338																						
barra	301	302	303	304	305	301	302	303	304	305	301	302	303	304	305	306	307	301	302	303	304	305	306	307	308	301	302	303	304	305	306	307							
Amostra	Não amostrado				Não amostrado				Não amostrado				327	328	329	339	340	Não amostrado				342	343	344	348	383	Não amostrado												
Comp. lingotado, m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	163,86	167,72	171,58	177,8	180,91	191	201	211	221	231	241	243,97	247,03	250,09	260,7	264,29	274	284	294	304	314	324	
KLP médio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,25	28,55	68,44	33,4	16,81	1	1	1	1	1	1	26,4	34,98	13,15	39,34	34,91	1	1	1	1	1	1	1

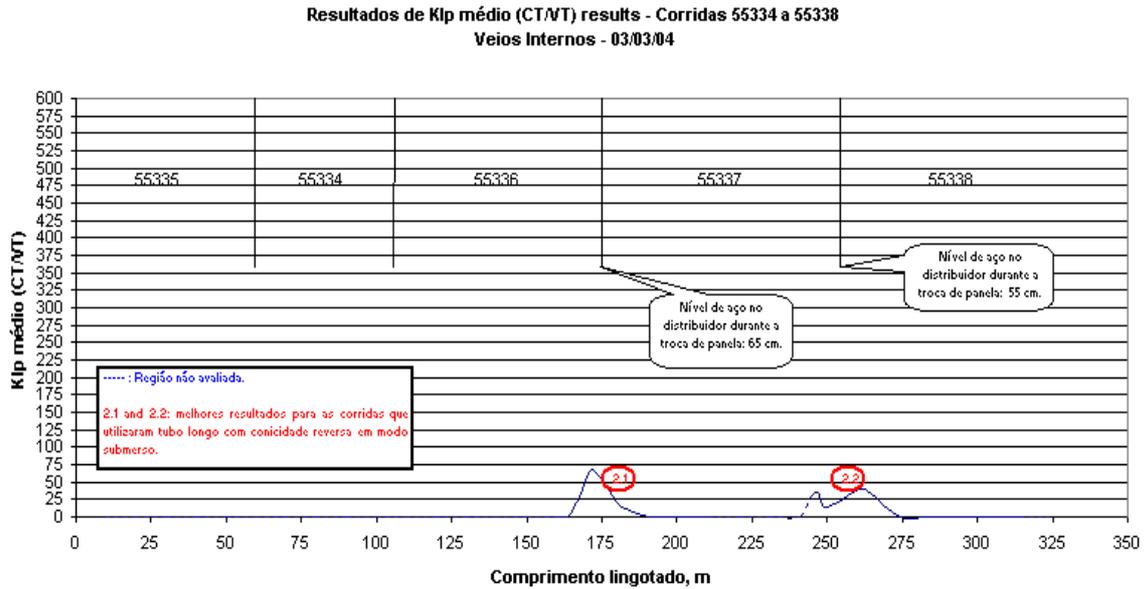


Figura 4. Representação gráfica dos resultados de Klp para tubos provenientes de barras lingotadas dos veios internos utilizando-se o tubo longo comum nas trocas de panela.

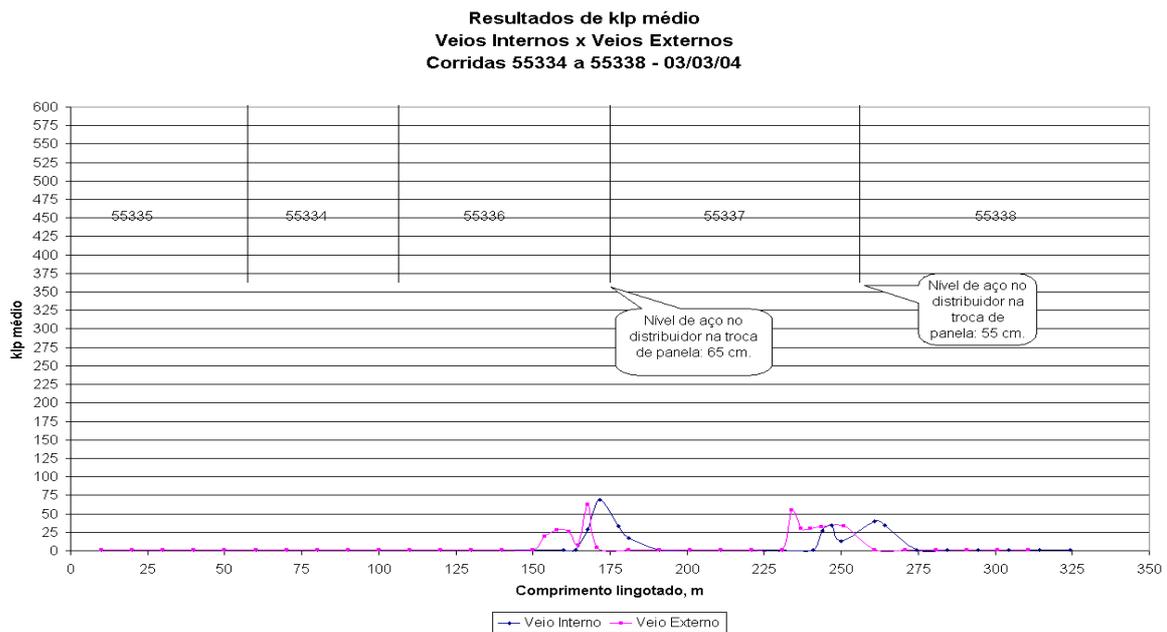


Figura 5. Comparação gráfica dos resultados de Klp para os tubos testados provenientes de barras pertencentes a veios externos e internos utilizando-se o tubo longo comum nas trocas de panela.

Corridas 55339 a 55343

Os resultados obtidos para a macropureza em termos de Klp para os veios externos e internos estão dispostos nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos relativos às Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultados de Klp para tubos oriundos de barras pertencentes aos veios externos da seqüencial 55339 a 55343 utilizando-se o tubo longo de conicidade reversa nas trocas de panela.

Corrida	55339					55340					55341					55342					55343												
barra	101	102	103	104	105	101	102	103	104	105	101	102	103	104		101		103	104	105	106		101		102	103	104						
Amostra	Não amostrado					Não amostrado					Não amostrado					351	352	353	357	358	359	364	NA	360	NA	361	362	371	372	373	366	Não amostrado	
Comp. lingotado, m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	133,53	137,06	140,59	144,5	148,41	152,3	156,2	166	169,44	179	189	192,65	195,86	203,03	206,99	210,95	214,91	225	228,87	238
KLP médio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24,78	30,95	32,92	41,46	44,02	21,81	22,69	1	20,08	1	1	3,95	8,91	7,76	15,56	10,47	5,45	1	0,55	1

Resultados de Klp médio (CT/VT) - Corridas 55339 a 55343
Veios Externos - 03/03/04

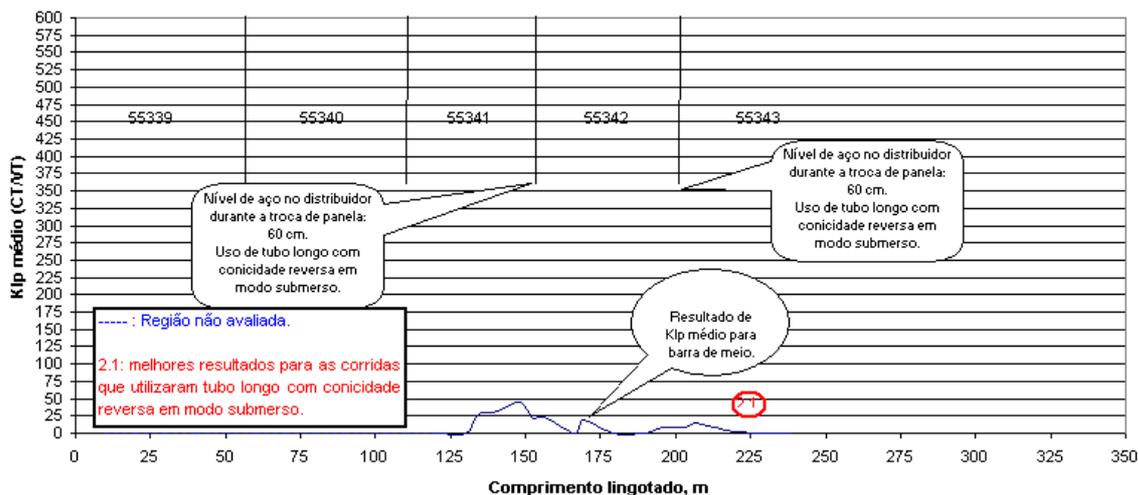


Figura 6. Representação gráfica dos resultados de Klp para tubos testados provenientes de barras pertencentes a veios externos utilizando-se o tubo longo de conicidade reversa.

Tabela 4. Resultados de Klp para tubos oriundos de barras pertencentes aos veios internos da seqüencial 55339 a 55343 utilizando-se o tubo longo de conicidade reversa nas trocas de panela.

Corrida	55339					55340					55341					55342					55343														
Barra	301	302	303	304	305	301	302	303	304	305	301	302	303	304	305		301		302	303	304	305		301		302	303	304	305	306					
Amostra	Não amostrado					Não amostrado					Não amostrado					354	355	356	355	356	355	NA	357	NA	358	359	370	375	376	377	387	NA	378	Não amostrado	
Comp. lingotado, m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	143,51	147,02	150,53	158,35	162,26	166,17	176	179,28	189	192,49	195,7	198,91	202,87	206,83	210,79	214,75	225	228,87	239	249	259
KLP médio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12,07	20,46	6,14	0,96	1,34	1,25	1	0,55	1	3,28	3,63	1,64	0,25	1,2	2,45	0,7	1	1,23	1	1	1

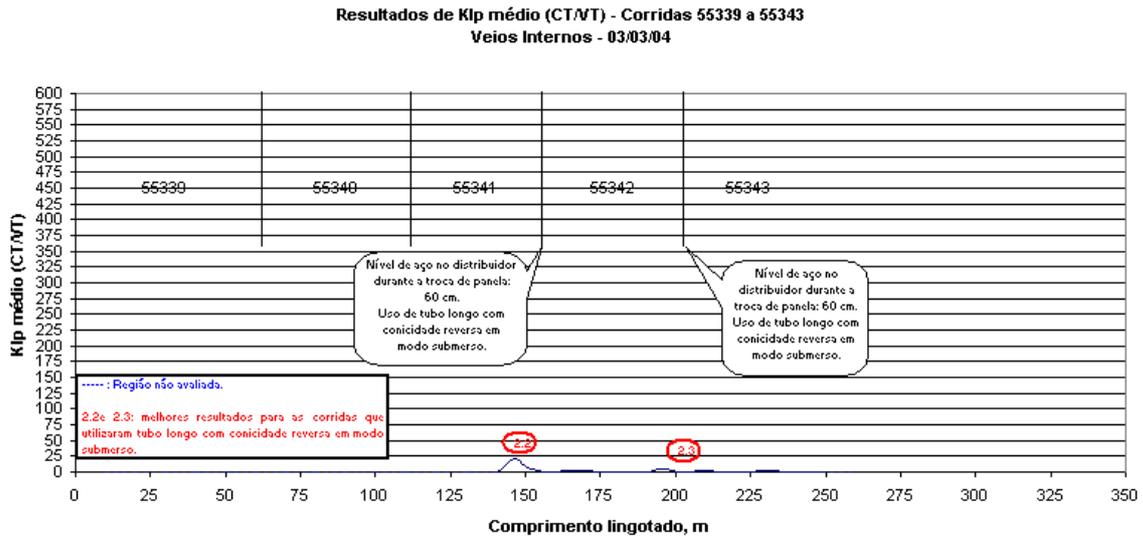


Figura 7. Representação gráfica dos resultados de Kip para tubos provenientes de barras lingotadas de veios internos utilizando-se o tubo longo de conicidade reversa nas trocas de panela.

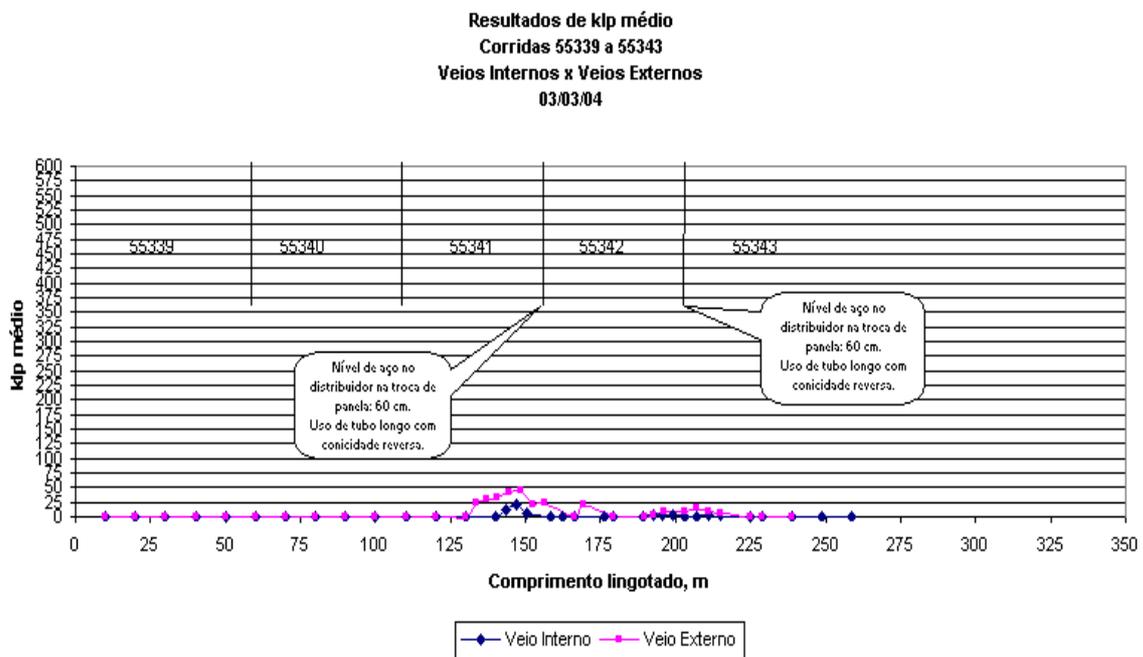


Figura 8. Comparação gráfica dos resultados de Kip para tubos testados provenientes de barras pertencentes a veios externos e internos utilizando-se o tubo longo de conicidade reversa nas trocas de panela.

Na utilização do tubo longo com conicidade reversa durante as trocas de panela, índices muito menores de Kip são alcançados, melhorando assim a macropureza dos tubos produzidos. Isso pode ser observado, tomando como referência a segunda troca de painéis de cada experimento, e comparando as Figuras:

- **3 e 6 observação 2.1:** A média dos valores de Klp médios para os veios externos foram, para a utilização do tubo longo comum, de 36,31; para a utilização do tubo longo de conicidade reversa, esse valor decaiu para 8,68.
- **4 e 7 observações 2.2 e 2.3:** A média dos valores de Klp médios para os veios internos foram, para a utilização do tubo longo comum, de 29,76; para a utilização do tubo longo de conicidade reversa, esse valor decaiu para 1,64.
- **5 e 8:** Na primeira troca de panela com utilização do tubo longo de conicidade reversa – corrida 55341 para corrida 55342 – a macropureza dos tubos laminados a partir de barras de transição não foram os melhores resultados obtidos, talvez por se tratar da primeira prática operacional de realização desse procedimento, conforme pode ser percebido pela figura 3.6. Porém, quando são comparados os resultados globais das trocas de panela com a utilização do tubo longo comum – Figura 3.3 – contra os resultados das trocas de panela com a utilização do tubo longo de conicidade reversa – figura 3.6 – têm-se:
 - Trocas de panela corridas 55336 para 55337 e 55337 para 55338: O valor Klp apresentou uma média de 29,83 e desvio padrão de 17,24.
 - Trocas de panela corridas 55341 para 55342 e 55342 para 55343: O valor Klp apresentou uma média de 12,54 e desvio padrão de 13,25.

A partir desses resultados observa-se que houve uma melhora significativa de 58% com relação à média e 23% com relação ao desvio padrão, quando o tubo longo de conicidade reversa foi utilizado.

4 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse trabalho foi possível constatar que o uso de tubo longo de conicidade reversa, sendo usado em modo submerso, propicia ao alcance de índices de macropureza bem maiores quando comparado ao uso do tubo longo comum, pois reduz tanto a possibilidade de reoxidação do aço quanto a emulsificação de escória e aço no distribuidor. Além disso, também é possível observar os seguintes aspectos:

- a areia de vedação da panela poderia exercer um efeito negativo no índice de macropureza do aço, já que a mesma é lançada diretamente dentro do distribuidor. Porém, esse efeito não foi observado;
- a maior redução do índice de macropureza quando o tubo de conicidade reversa foi utilizado foi observada para os tubos de aço laminados/trefilados a partir de barras oriundas dos veios internos do distribuidor da V&M do BRASIL S.A. (veios 2 e 3), cujos valores são:
 - $\bar{X} = 36,31$ para $\bar{X}' = 8,68$ (Veios externos)

- $\bar{Y} = 29,76$ para $\bar{Y}' = 1,64$ (Veios internos)

Provavelmente esse resultado é devido à configuração do distribuidor utilizado no lingotamento contínuo, já que os veios internos estão mais próximos do setor central de emulsificação de aço e escória (região do tubo longo).

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. **Refratários e insumos para lingotamento contínuo**. Vitória, 2001. (Apostila de curso)

INVESTIGATION OF MACROCLEANLINESS FOR CLEAN STEEL TUBES ON DIFFERENT LADLE CHANGING CONDITIONS ⁽¹⁾

Oswaldo Alves Ferreira Neto ⁽²⁾
Hélio de Rezende Manetta ⁽³⁾
Fabrício Batista Vieira ⁽⁴⁾
César Nery de Abreu ⁽⁵⁾
Camilla Pessanha Schiavo ⁽⁶⁾
Rubens Felipe Filho ⁽⁷⁾
Jean Carlos Cordeiro ⁽⁸⁾
Leonardo Luiz Siqueira Mathias ⁽⁹⁾

Abstract

Many factors are able to affect, significantly, the macrocleanliness of steel, which is strongly influenced by the amount of inclusions carried out from the tundish to the casting mold. This paper intends to evaluate the influence of the ordinary ladle shroud and the special ladle shroud, in relation of macrocleanliness level for special steel grades, at the moment of the ladle changing, for different steel heights in the tundish. Two heat sequences of special steel grades have been made at VMB steelmaking shop, using an ordinary ladle shroud and a special ladle shroud, and testing different steel heights in the tundish at the moment of ladle changing. After the rolling mill process, the tubes have been cold drawn and then examined on ultra sound equipment, in order to evaluate the macrocleanliness of the steel in terms of K_{lp}, which can be understood as the sum of the length of all inclusions divided by the volume (in dm³) of the inspected tube. By this paper it was possible to conclude that the special ladle shroud provides to the steel a higher level of macrocleanliness than the ordinary ladle shroud does. Hence, the special ladle shroud is strongly recommended for a production of special steel grades.

Key-words: Steelmaking, ladle shroud, macroinclusion.

-
- (1) Paper submitted to the XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, May 16th to 18th, 2004, Vitória-ES.
(2) Metallurgical Engineer, M. Sc., Research and Development Siderurgy Department, V&M do BRASIL S.A.
(3) Metallurgical Engineer, Manager of the Research and Development Siderurgy Department, V&M do BRASIL S.A.
(4) Metallurgical Engineer, M. Sc., Steelmaking Department, V&M do BRASIL S. A.
(5) Engineer, Steelmaking Department, V&M do BRASIL S. A.
(6) Student of Metallurgy Engineering, UFMG, intern of Research and Development Siderurgy Department, V&M do BRASIL S.A
(7) Engineer, Refractories Supplies Department, Vesuvius Inc.
(8) Industrial Technician, Precision Automotive Tubes Department, V&M do BRASIL S.A
(9) Student of Metallurgy Engineering, UFMG, intern of Research and Development Siderurgy Department, V&M do BRASIL S.A