

# ANÁLISE DE DIFERENTES VÁLVULAS SUBMERSAS E TAMPÕES NO ÍNDICE DE MACROPUREZA DE AÇO PARA ROLAMENTO NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA V&M DO BRASIL.<sup>(1)</sup>

Christian Hahne<sup>(2)</sup>  
Hélio de Rezende Manetta<sup>(3)</sup>  
Dieter Senk<sup>(4)</sup>  
Heinrich Wilhelm Gudenau<sup>(5)</sup>  
Friedrich-Hans C.G. Grandin<sup>(6)</sup>

## RESUMO

Neste trabalho foram comparadas as situações de montagens entre dois tipos de tampões e dois tipos de válvulas submersas no distribuidor do lingotamento contínuo. Os experimentos foram executados na linha de produção e analisados utilizando-se a metodologia de análise de variância. Os tampões empregados neste experimento foram os usualmente utilizados, de alumina e carbono, e os tampões modificados, com ponta de MgO. As válvulas submersas foram alteradas em seu diâmetro interno, sendo que a válvula modificada teve seu diâmetro interno reduzido em 28%. Para a análise dos resultados foram utilizados os valores medidos do nível de macroinclusões por volume de material ensaiado, oriundos dos tubos laminados e trefilados, através de testes não-destrutivos de ultra-som.

Palavras-chave: macroinclusões, aço para rolamentos.

---

- 
- (1) Contribuição Técnica ao XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Salvador, Maio de 2004.  
(2) Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Departamento de Aciaria da Vallourec & Mannesmann Tubes.  
(3) Engenheiro Metalurgista, Gerente do Departamento de Qualidade e Pesquisa Siderúrgica da Vallourec & Mannesmann Tubes.  
(4) Engenheiro Metalurgista, Dr.-Ing., Professor IEHK-RWTH Aachen  
(5) Engenheiro Metalurgista, Dr.-Ing., Professor IEHK-RWTH Aachen  
(6) Engenheiro Metalurgista, Dr.-Ing., Professor honorário IEHK-RWTH Aachen

## Introdução

Com a crescente necessidade do aumento da durabilidade dos rolamentos é imprescindível um esforço para o desenvolvimento de aços com maior grau de pureza. O tamanho e o tipo de inclusões não metálicas tem grande influência na vida útil dos rolamentos. Inclusões de tamanhos maiores influenciam negativamente a vida útil destes produtos. O tipo de inclusão também influi na vida útil. As inclusões de aluminato de cálcio, por exemplo, prejudicam fortemente a vida útil dos rolamentos devido a sua dureza e tamanho. Estas inclusões não se deformam durante o processo de transformação mecânica do aço e formam núcleos de tensão que originam trincas, sendo este um dos principais mecanismos que levam ao final de vida útil dos rolamentos.

O esforço para a melhoria do grau de macropureza destes tipos de aços tem sido realizado na direção de adequação de processos e materiais refratários durante a produção na Aciaria da V&M do Brasil. Durante a execução deste processo de melhoria foi constatado uma grande influência das variáveis de processo relacionados com os tampões e válvulas submersas utilizados no lingotamento contínuo.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo estudar e analisar a influência das diferentes possibilidades de montagens entre as válvulas submersas e tampões no índice de macropureza de aços para rolamento no lingotamento contínuo.

## Materiais

Neste trabalho foram comparadas as diversas situações de montagem entre dois tipos de tampões e dois tipos de válvulas submersas no lingotamento contínuo. Os tampões foram alterados em sua composição química e sua geometria ficou inalterada. As válvulas submersas foram alteradas em sua geometria e a composição química do refratário permaneceu inalterada.

Os tampões utilizados usualmente são compostos de alumina e carbono. Os tampões testados neste trabalho são de MgO. No caso dos tampões somente a parte inferior foi alterada, ou seja, a ponta.

As válvulas submersas foram alteradas em sua geometria, exclusivamente em seu diâmetro interno. As válvulas alteradas tiveram o seu diâmetro interno reduzido em 28%. A redução não afetou o diâmetro externo da válvula submersa.

## Metodologia

Os tampões e válvulas submersas foram montados conforme as quatro possíveis maneiras mostradas na **Tabela 1**. Estas montagens foram submetidas a produção na máquina de lingotamento da Aciaria. As barras produzidas com cada uma das montagens entre válvulas submersas e tampões foram identificadas e rastreadas pela produção usual de tubos sem costura para rolamentos. Ao final do processo de laminação e de trefilação dos tubos sem costura, foram realizados ensaios não

destrutivos de ultra-sonografia para determinação do índice de macropureza, chamado de Ka/L. Este indicador é referente ao número e intensidade de perturbações no sinal do ultra-som, por volume de material, que por ventura são medidos nos tubos testados. As inclusões verificadas neste processo de ultra-som são inclusões oxidicas contendo predominantemente Al, Si e Mn. A composição típica desta macro inclusões foram discutidas em [1].

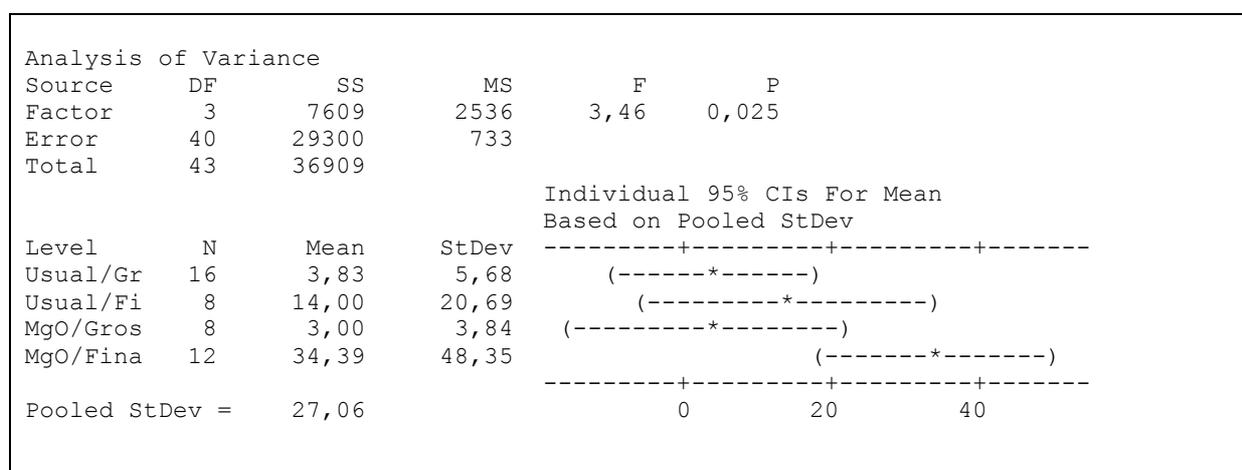
Montagem	Tipo Tampão	Tipo Válvula Submersa
1	Usual	Diâmetro usual
2	Usual	Diâmetro menor
3	MgO	Diâmetro usual
4	MgO	Diâmetro menor

**Tabela 1** – Montagens testadas entre válvulas submersas e tampões.

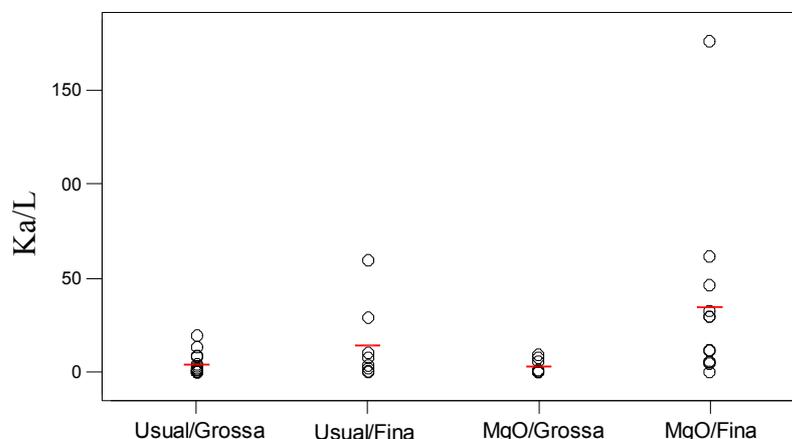
As comparações entre as quatro possíveis montagens foram realizadas através da medida de Ka/L e comparadas utilizando se para tal a ferramenta estatística da análise de variância. Para o cálculo e o tratamento dos dados foi utilizado o software Minitab. Para a análise estatística foi escolhido um nível de confiança de 95%, ou seja um  $\alpha$  de 0,05.

## Resultados

O resultado das quatro montagens foram comparadas simultaneamente. A **Figura 1** mostra o relatório de saída do software Minitab. O valor de P (0,025) é inferior a  $\alpha$  e portanto pode ser concluído que existe uma diferença estatística entre as médias das montagens, ou seja, é possível afirmar que existe uma diferença entre as médias das montagens entre os tampões e as válvulas submersas.. Na **Figura 2** são visualizadas os valores medidos.



**Figura 1** – Relatório da comparação de todas montagens



**Figura 2** – Comparação de todas as montagens (Tampão/Válvula submersa)

A comparação entre os tipos de tampão, mantendo-se constante a válvula submersa com diâmetro interno usual (válvula submersa grossa), mostrou um valor de P (0,714) maior que  $\alpha$ . Desta maneira não é possível afirmar que existe uma diferença estatisticamente significativa entre estas duas montagens. O relatório do software Minitab é mostrado na **Figura 3** e o valores medidos são mostrados na **Figura 4**.

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	3,7	3,7	0,14	0,714
Error	22	586,4	26,7		
Total	23	590,0			

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
Usual/Gr	16	3,830	5,677
MgO/Gros	8	3,000	3,835

Pooled StDev = 5,163

0,0      2,5      5,0      7,5

**Figura 3** - Relatório da comparação entre tampões com válvula submersa usual

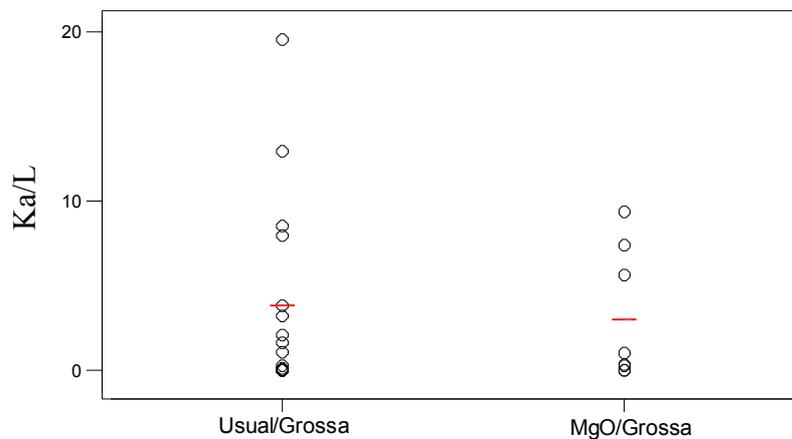
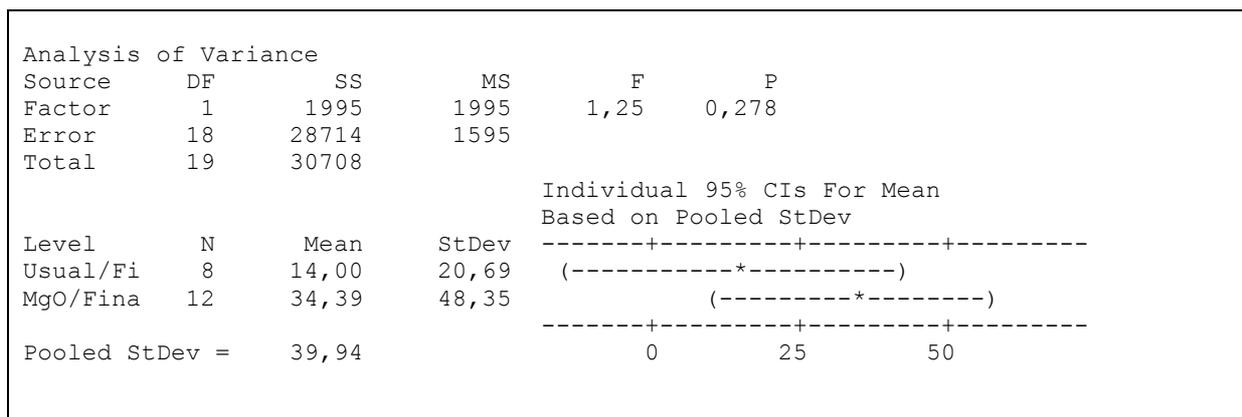


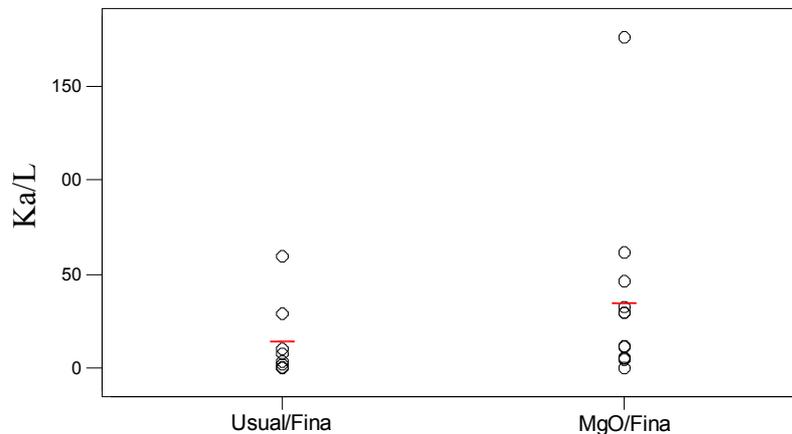
Figura 4 - Comparação entre tampões com válvula submersa usual (grossa).

De maneira análoga, foram realizadas comparações entre as montagens dos tampões, mantendo-se constante a válvula submersa de diâmetro reduzido (fina). O resultado da análise de variância pode ser visto na **Figura 5**. O Valor P, neste caso é de 0,278 e é também maior que o valor  $\alpha$ . Novamente não pode ser afirmado que existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias destas montagens. A

**Figura 6** mostra os valores medidos destas montagens.



**Figura 5** - Relatório da comparação entre tampões com válvula submersa de diâmetro de saída reduzido (fina).



**Figura 6** - Comparação entre tampões com válvula submersa de diâmetro reduzido (fina).

A comparação das montagens variando-se apenas os tampões, não mostrou uma diferença entre as médias. Como a comparação global de todas as possibilidades mostrou haver uma diferença significativa entre as montagens e não ter sido verificada uma diferença entre os tipos de tampões, quando comparados em situações sem alterações na variável válvulas submersas, faz-se necessário uma comparação entre as situações de montagem que não levem em consideração a variável tampão.

Apesar de não ter sido verificada nenhuma diferença entre as montagens utilizando-se os dois tipos de tampões, os mesmos foram analisados visualmente após a produção de um seqüencial. A

**Figura 7** mostra a comparação entre dois tampões utilizados na mesma seqüencial, tendo sido desta forma submetidos a mesmas condições de produção. O desgaste visivelmente mais acentuado do tampão usual mostra que o melhor resultado pode ser alcançado com o tampão modificado, ou seja, o tampão com a ponta de MgO.

Neste caso, por não ter sido constatado uma diferença estatisticamente significativa entre as montagens com tampões diferentes, a comparação entre os tipos de válvulas submersa foi simplificada. Foram comparadas as situações entre as válvulas usuais e as válvulas com diâmetro reduzido, não levando em conta o tipo de tampão utilizado. Na **Figura 8** é mostrado o relatório de saída da comparação entre as válvulas submersas. O valor de P é de 0,009 e é inferior ao valor de  $\alpha$ . Desta forma pode ser afirmado que existe uma diferença, estatisticamente significativa, entre as válvulas submersas. A **Figura 9** mostra os valores medidos.



**Figura 7** – Comparação visual entre tampão de usual (esquerda) e tampão com ponta de MgO (direita)

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	5611	5611	7,53	0,009
Error	42	31298	745		
Total	43	36909			

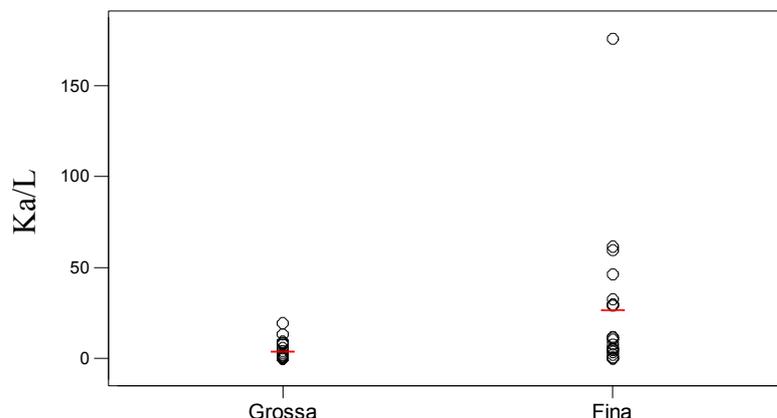
  

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
Grossa	24	3,55	5,06
Fina	20	26,23	40,20

Pooled StDev = 27,30

0      15      30      45

**Figura 8** - Relatório da comparação entre válvula submersa usuais (grossa) e com diâmetro de saída reduzido (fina) sem distinção de tipo de tampão.



**Figura 9** - Comparação entre válvula submersa usuais (grossa) e com diâmetro de saída reduzido (fina) sem distinção de tipo de tampão.

### Conclusão

A comparação das médias através da análise de variância mostrou que existe diferença, estatisticamente significativa, entre as montagens de válvulas submersas e tampões testadas neste trabalho. O tampão modificado, com a ponta de MgO mostrou-se mais resistente a erosão durante a produção de aços para rolamento, apesar de não ter mostrado nenhuma diferença estatística quando realizada a comparação das médias. Em contrapartida, as válvulas submersas usuais apresentaram os melhores resultados em relação ao índice de macropureza.

A decisão pela utilização do tampão com ponta de MgO, nos aços para rolamento, pode ser fundamentada pelo menor desgaste verificado nos mesmos. Com um menor desgaste pode-se concluir que uma quantidade menor de material não metálico (refratário) foi erodido e carregado para o aço. Este fato deve ser considerado positivamente em relação ao índice de macropureza.

No caso das válvulas submersas, a de menor diâmetro mostrou-se pior em relação ao índice de macropureza. Este fato está, provavelmente, ligado à maior velocidade de saída do aço para o molde e, conseqüentemente, a maior penetração do jato de aço no molde. As inclusões levadas, desta forma, para o molde têm maior penetração e uma probabilidade reduzida de flutarem e serem absorvidas. A maior velocidade de saída do aço da válvula submersa pode ainda acarretar uma maior erosão interna da própria válvula submersa e, também, promover uma maior aspiração de ar pelas paredes porosas, causando assim uma reoxidação do aço.

Por fim, conclui-se neste trabalho, que a melhor montagem entre as válvulas submersas e tampões para os aços de rolamentos é a montagem com tampão de ponta de MgO e as válvulas usuais. Esta montagem mostrou o menor índice Ka/L e também a menor dispersão entre os resultados coletados.

## Referência Bibliográfica

- [1] Hahne, C., Manetta, H. R., Neto, O. A. F., Otimização do processo de fabricação de aço para rolamento na aciaria da V&M Tubes do Brasil, XXXIV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Belo Horizonte, Maio de 2003.
- [2] Rakoski, F., Nichtmetallische Einschlüsse in Stählen, Stahl und Eisen 114 (1994) Nr.7, S.71/77.
- [3] Jacobi, H., Balthmann, H.-J., Gronsfeld, J., Neuartige Bestimmung des Makro-Reinheitsgrades am unkonventionell gewalzten Strangguss, Stahl und Eisen 108 (1988) Nr.20, S.54/66.
- [4] Gladman, T., Developments in inclusions control and their effects on steel properties. Ironmaking and Steelmaking 1992 Vol.19 No.6, 457/463.
- [5] Bannenberg, N., Wechselwirkung zwischen Feuerfestmaterial und Stahl und deren Einfluss auf den Reinheitsgrad des Stahls, Stahl und Eisen 115 (1995) Nr.9, S.79/86.
- [6] Jauch, R., Jacobi, H., Litterscheidt, H., Pluschkell, W., Valentin, P., Wünnenberg, K., Metallurgische Massnahmen beim Stranggiessen zur Verbesserung des Reinheitsgrades, Stahl und Eisen 109 (1989) Nr.6, S.31/38.
- [7] Monnot, J., Cogne, J.Y., Héritier, B., Propreté inclusionnaire et teneu en fatigue des aciers pour roulement, Reveu de Métallurgie, Octobre 1986, S. 761/769.
- [8] Thiery, D., Bettinger, R., Krumpholz, A., Valentin, P., Aluminiumfreier Wälzlagerstahl, Stahl und Eisen 117 (1997) Nr.8, S.79/89.
- [9] Rouseau, D., Seraphin, L., Tricot, R., Nonmetallic inclusion rating and fatigue properties of ball bearing steels. Bearing Steels: The rating of nonmetallic inclusion, ASTM STP 575, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1975, S.149/165.
- [10] Kinoshi, M., Koyanagi, A., Effect of nonmetallic inclusion on rolling-contact fatigue life in bearing steels. Bearing steels: The rating of nonmetallic inclusion, ASTM STP 575, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1975, S.139/149.
- [11] Heaslip, L.J., Sommerville, I.D., McLean, A., Swartz, L., Wilson, W.G., Model study of flow and pressure distribution during SEN injection – Potential for reactive metal additions during continuous casting, ISS Continuous Casting Series, Vol.6, S.99/114, 1992.
- [12] Ogibayashi, S., Mechanism and countermeasure of alumina buildup on submerged nozzle in continuous casting, Taikabutsu Overseas, Vol.15, N.1, S.3/13.
- [13] Tsujino, R., Tanaka, A., Imamura, A., Takahashi, D., Mizoguchi, S., Mechanism of deposition of inclusion and metal in ZrO<sub>2</sub>-CaO-C immersion nozzle of continuous casting, ISIJ International, Vol.34 (1994) N.11, S.853/858.
- [14] Sasai, K., Mizukami, Y., Reaction mechanism between alumina graphite immersion nozzle and low carbon steel, ISIJ International, Vol.34 (1994) N.10, S.802/809.
- [15] Fukuda, Y., Ueshima, Y., Mizoguchi, S., Mechanism of alumina deposition on alumina graphite immersion nozzle in continuous casting, ISIJ International, Vol.32 (1992) N.1, S.164/168.
- [16] Horbach, U., Rödl, S., Abratis, H., Höfer, F., Strömungsuntersuchungen in geregelten Verteilerausgüssen zur Vermeidung von Clogging, Stahl und Eisen 115 (1995) Nr.11, S.71/76.

# **ANALYSIS OF DIFFERENTE KIND OF SUBMERGED ENTRY NOZZLES AND STOPPER RODS ON THE MACROCLEANLINESS INDEX FOR BEARING STEELS IN THE CONTINUOS CASTING AT V&M DO BRASIL.<sup>(1)</sup>**

**Christian Hahne<sup>(2)</sup>  
Hélio de Rezende Manetta<sup>(3)</sup>  
Dieter Senk<sup>(4)</sup>  
Heinrich Wilhelm Gudenau<sup>(5)</sup>  
Friedrich-Hans C.G. Grandin<sup>(6)</sup>**

## **ABSTRACT**

In this present work the different possibility to assemble two types of stopper rods and two types of submerged entry nozzles was compared during the usage in the continuous casting tundish. The experiments were executed in the production line and analyzed with the variance analysis method. The used stopper rods were the usual one made of alumina-graphite and a new one with a MgO insert. The submerged entry nozzle was tested with different inner diameters. The new submerged entry nozzle had a 28% smaller inner diameter. For the analysis of the results, the value of macro inclusion measured with a ultrasonic method at the end product was used. This result is related to the volume of tested material at the ultrasonic equipment.

**Key-words:** macro inclusion, bearing steel.

- 
- (1) Technical Contribution to the XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Salvador, May 2004.**
  - (2) Metallurgical Engineer, M.Sc., Steel Plant Department Vallourec & Mannesmann Tubes.**
  - (3) Metallurgical Engineer, Manager Steel Plant Quality and Research Department Vallourec & Mannesmann Tubes.**
  - (4) Metallurgical Engineer, Dr.-Ing., Professor IEHK-RWTH Aachen**
  - (5) Metallurgical Engineer, Dr.-Ing., Professor IEHK-RWTH Aachen**
  - (6) Metallurgical Engineer, Dr.-Ing., Honorary professor IEHK-RWTH Aachen**