



## DETERMINAÇÃO DE MACROINCLUSÕES EM TARUGOS LINGOTADOS CONTINUAMENTE UTILIZANDO TÉCNICAS ULTRA-SÔNICAS

<b>Manuel R. de Braga,</b>	Engenheiro Metalúrgico, PPGEM/UFRGS
<b>Luciano V. Biehl,</b>	Engenheiro Metalúrgico, Msc., PPGEM/UFRGS
<b>José A. Cardoso,</b>	Engenheiro Metalúrgico, Gerdau/Aços Finos Piratini
<b>Paulo H Cardoso,</b>	Engenheiro Mecânico, Msc., PPGEM/UFRGS
<b>Paulo R Leal,</b>	Engenheiro Metalúrgico, PPGEM/UFRGS
<b>Gustavo R. Mariante,</b>	Engenheiro Metalúrgico, Msc, PPGEM/UFRGS
<b>Telmo R Strohaecker,</b>	Eng. Metalúrgico, Dr., Professor do DEMET/PPGEM/UFRGS
<b>Joaquim Bas,</b>	Eng. Metalúrgico, Dr. Ing, Gerente de Desenvolvimento da Gerdau S.A.- Aços Finos Piratini

**Resumo.** A determinação do nível de inclusões de tarugos obtidos em lingotamento contínuo é de fundamental importância no processo de produção de aços, pois seu nível indica o grau de limpeza do material que será posteriormente laminado.

Este trabalho apresenta os resultados preliminares da adaptação de uma técnica de inspeção ultra-sônica que visa determinar a presença de macroinclusões em tarugos de lingotamento contínuo. Amostras de tarugos da Gerdau Aços Finos Piratini foram recalçadas com o objetivo de fragmentar e/ou alongar as macroinclusões, aumentando assim o grau de detecção para a inspeção ultra-sônica. Posteriormente as amostras foram inspecionadas por ultra-som para a verificação de possíveis descontinuidades. Com base na localização das descontinuidades, foram feitos cortes nas amostras, com o intuito de definir o tipo e de determinar suas dimensões através de microscopia óptica e eletrônica de varredura, relacionando-as com o ganho ultra-sônico obtido na inspeção

**Palavras-chave:** Ultra-som, Macroinclusão, Tarugo, Lingotamento contínuo

## 1- INTRODUÇÃO

A garantia da qualidade de produtos oriundos do lingotamento contínuo vem sendo uma das principais metas das usinas siderúrgicas. Dentro deste contexto, as macroinclusões apresentam um papel importante por serem partículas de uma segunda fase dispersas na matriz metálica.

A avaliação do grau de inclusões desses tarugos é de fundamental importância no processo de produção de aços, pois seu nível indica o grau de limpeza do material que será posteriormente laminado.

Geralmente, a inspeção é feita através da observação de macroinclusões em cortes transversais. Entretanto, esta observação em um plano não é suficiente para determinar o grau de limpeza inclusionária do tarugos, visto que há uma pequena probabilidade de encontrar uma zona realmente representativa do aço em um corte<sup>[1]</sup>.

Por outro lado, a utilização da técnica ultra-sônica na determinação de macroinclusões em tarugos não é tão difundida pouco utilizada em virtude da dificuldade em se estabelecer procedimentos confiáveis que possam garantir o tamanho e a localização das macroinclusões.

A dificuldade de detecção das macroinclusões nos tarugos de lingotamento contínuo está relacionada com a sua elevada heterogeneidade<sup>[2]</sup>. Os grãos equiaxiais, colunares, microvazios, e outros defeitos podem causar dificuldades na detecção da possível macroinclusão<sup>[3]</sup>. O pequeno tamanho da partícula a ser detectada é outro problema que dificulta a detecção da macroinclusão no tarugo, pois a partir de 60µm já se considera a partícula como macroinclusão<sup>[4]</sup>.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados iniciais da adaptação de uma técnica de inspeção ultra-sônica não automatizada para determinar a presença de macroinclusões em tarugos de lingotamento contínuo, monitorando com isso o envio dessas barras para a laminação.

## 2- METODOLOGIA

As amostras apresentadas neste trabalho foram obtidas de tarugos oriundos do lingotamento contínuo do Grupo Gerdau- Aços Finos Piratini, de secção quadrada de 140 mm e comprimento 130 mm. Com o intuito de assegurar a presença de inclusões na amostra, utilizou-se tarugos provenientes do início da corrida.

Estas amostras foram recalçadas, numa razão de 10:1, no sentido transversal ao lingotamento, com o objetivo de fragmentar e/ou alongar as macroinclusões, aumentando assim o grau de detecção para a inspeção ultra-sônica, conforme proposto por Jacobi<sup>[5]</sup> conforme esquematizado na Fig.1.

Posteriormente as amostras foram inspecionadas por ultra-som para a verificação de possíveis discontinuidades. Com base na localização das discontinuidades, foram feitos cortes nas amostras, com o intuito de classificá-las e de determinar suas dimensões através de microscopia óptica e eletrônica de varredura, relacionando-as com o ganho ultra-sônico obtido na inspeção, para assim obter dados para posteriormente construir uma curva de ganho ultra-sônico em função da dimensão das macroinclusões.

Para a realização do ensaio ultra-sônico, foi demarcada na bolacha recalçada uma área de 200x200mm, com um reticulado de 10x10mm, para orientar a varredura com o transdutor, demarcando os defeitos com um "X".

Tal transdutor foi escolhido em função de testes preliminares. Trata-se de um transdutor do tipo amortecido, com 6,3mm de diâmetro do cristal e frequência de banda larga variando entre 1 e 6MHz, bastante utilizado para detectar defeitos em trabalhos com materiais de granulação grosseira.

O ensaio foi realizado nas seguintes condições:

- Ganho de varredura: 60dB.
- Espaçamento entre linhas de varredura: 10mm.
- Distância do eco de fundo: 16mm.
- Largura do eco de entrada: 4mm com 60dB.
- Percurso sônico útil: Entre 4,5mm e 14,5mm (10mm úteis, tendo sido desprezados os 4,5mm iniciais devido ao ruído de entrada e 1,5mm finais devido ao eco de fundo).
- Escala: 25mm.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras foram retiradas do desponete do tarugo da primeira corrida, como mostra a figura 1.

Salienta-se que os testes foram realizados com o desponete para ter certeza que as partículas detectadas seriam macroinclusões, uma vez que esta parte do tarugo apresenta, em geral um maior nível de macroinclusões. Analisou-se a parte final do desponete, mais próxima do primeiro tarugo liberado (figura 1). Usou-se o critério da construção de grades na amostra recalçada, ressaltando os defeitos com um X.

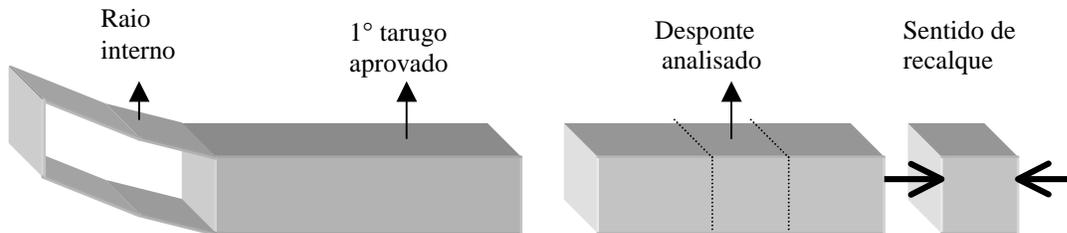


Figura 1 – Desponete analisado. Corrida A (qualidade SAE 1045). Recalque em secção 140x140x130 a 1200°C

A amostra após recalçada, conforme visto na figura 2, apresentou-se achatada, sendo retificada com o objetivo de facilitar a inspeção por ultra-som.

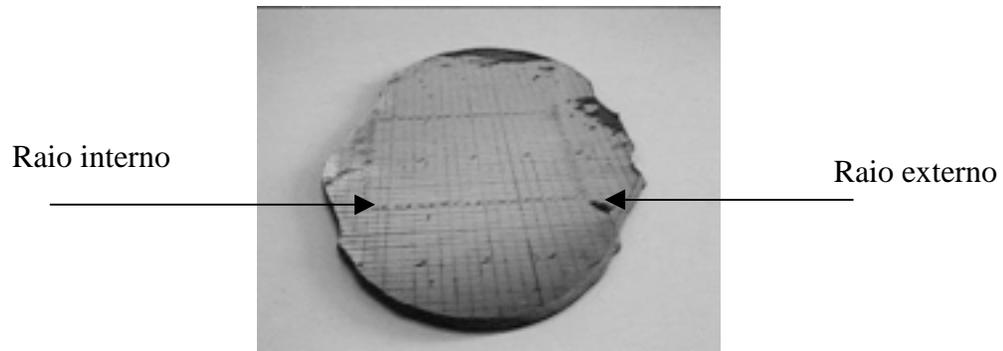


Figura 2- Tarugo forjado e retificado

Após a retífica do tarugo recalcado, demarcou-se o mesmo com linhas verticais e horizontais para posterior localização das possíveis discontinuidades. A figura 3 apresenta a distribuição de defeitos dentro desta grade. Notou-se que a maior quantidade de discontinuidades foi encontrada na região superior do tarugo forjado, devido a flotação que ocorre nas macroinclusões durante o lingotamento, havendo sua concentração na área equivalente ao raio interno da máquina.

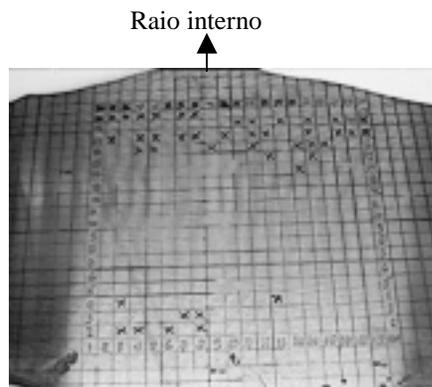


Figura 3 - Distribuição dos defeitos dentro da grade demarcada no tarugo forjado

Foi utilizado um osciloscópio digital de ultra-som, com varredura manual, por técnica de contato e vaselina como acoplante. A figura 4 mostra esquematicamente o princípio utilizado para identificar um pico de macroinclusão.



Figura 4 - Análise de um pico, identificando uma discontinuidade

Após identificados os possíveis defeitos, foi escolhida uma região que apresentou um maior número de defeitos detectados pelo ultra-som. Esta região foi retirada com o objetivo de encontrar os defeitos detectados previamente pelo ultra-som e, se possível, relacioná-los com o ganho em decibéis.

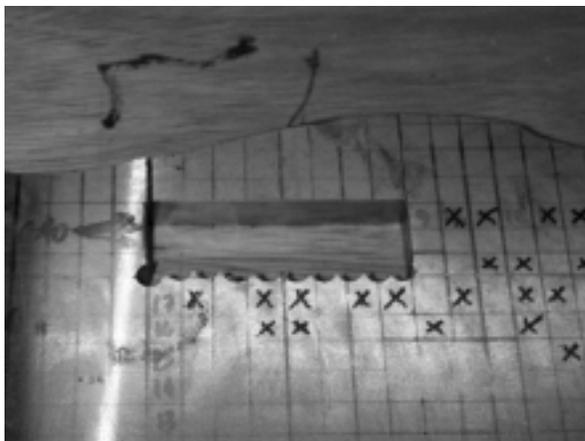


Figura 5 - Corte do desponte forjado para a análise das macroinclusões detectadas no ensaio ultra-sônico

Esta amostra retirada do tarugo recalçado foi colocada em uma máquina de disco diamantado, de corte preciso, para poder identificar a macroinclusão detectada pelo ultra-som, sem haver possibilidade dela se esfacelar. A figura 6 apresenta um corte realizado na região do tarugo recalçado que apresentou um considerável número de discontinuidades detectadas pelo ultra-som. O corte foi realizado o mais próximo às macroinclusões.



Figura 6 - Corte da amostra retirada da ponta do desponte forjado

A macro identificada pelo ultra-som, com um ganho de aproximadamente 50 dB, apresentou um comprimento de 300  $\mu\text{m}$ , composta por 34.7%O; 28.4%Al; 22.9%Ca; 8.2%Si; 1.9%S; 1.96%Fe; 0.9%Na e 0.7%S. A figura 7 mostra o tamanho de uma macroinclusão através de um corte transversal do tarugo recalçado.

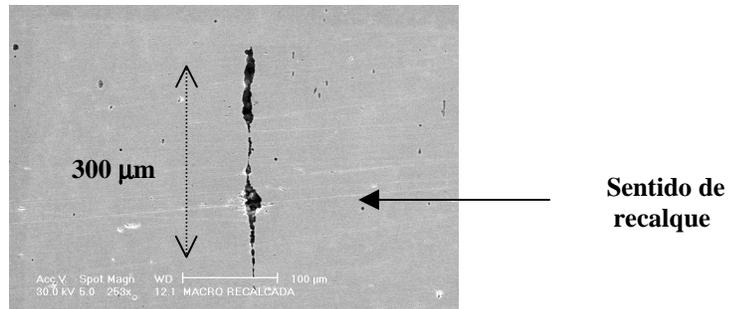


Figura 7 - Macroinclusão alongada detectada pelo ultra-som

A dimensão de 300 µm foi obtida por um corte com disco diamantado aproximadamente no meio da região indicada pelo ultra-som. Esta foi a primeira tentativa de investigação, na qual não é garantido a maior dimensão da macroinclusão.

A fim de se obter uma relação confiável do ganho em decibéis, existe a necessidade de ser identificada esta maior dimensão.

Da mesma amostra ( figura 6 ) foram analisados diversos planos que continham uma segunda macroinclusão, para assim garantir a obtenção da já citada maior dimensão da macroinclusão. A figura 8 apresenta os diversos planos metalográficos analisados desta segunda macroinclusão

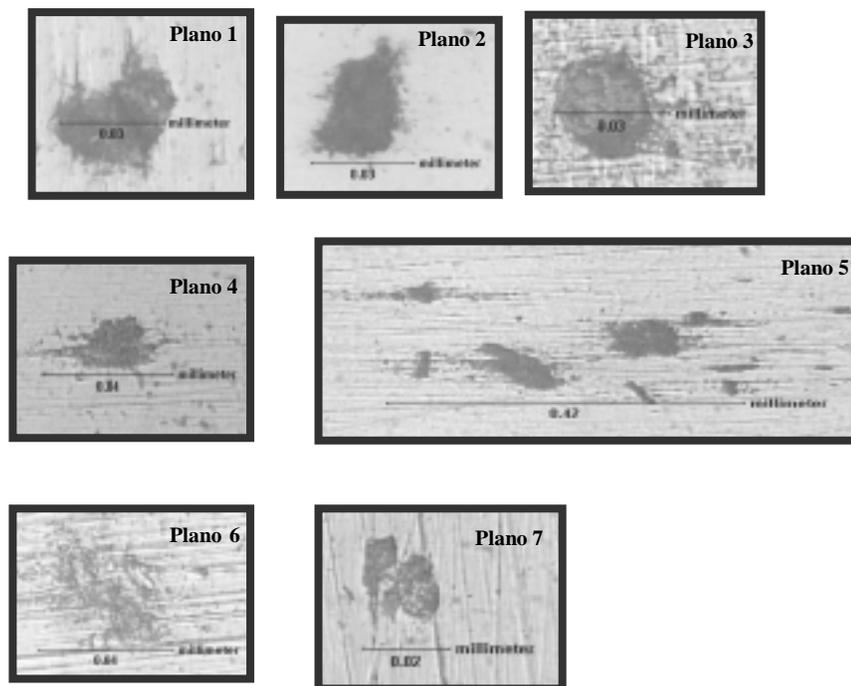


Figura 8 - Planos contendo a macroinclusão

A figura 9 apresenta o esboço da macroinclusão dos planos apresentados na figura 8

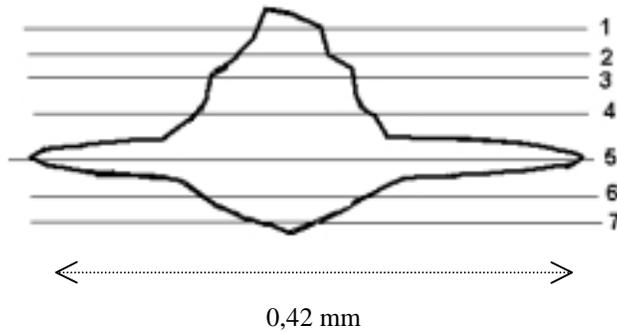


Figura 9 – Esboço da segunda macroinclusão analisada

De posse destes dados pretende-se relacionar o tamanho da macroinclusão com o ganho em dB obtido no ultra-som, visto que para isto é necessário que seja conhecida a maior dimensão da partícula, perpendicular ao feixe ultrassônico. Esses valores serão muito importantes para que seja montada futuramente níveis entre ganho e tamanho da partícula. A figura 10 mostra os planos de uma terceira macroinclusão, encontrada na mesma amostra apresentada na figura 6, tendo esta um ganho de 55 dB.

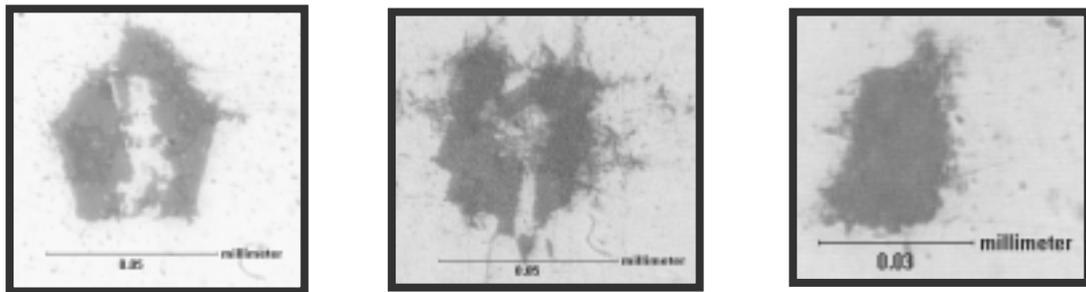


Figura 10 - Planos contendo a macroinclusão do terceiro corpo de prova

A figura 11 apresenta o esboço da macroinclusão em função dos planos analisados.

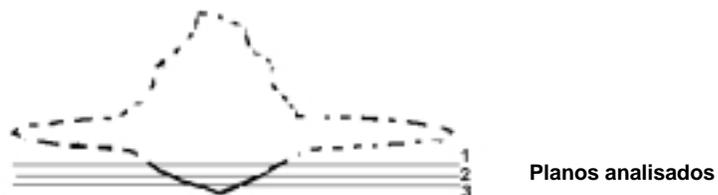


Figura 11 – Esboço da macroinclusão analisada do terceiro corpo de prova

O esboço acima é apresentado em função do ganho obtido na inspeção ultrassônica de 55 dB, que de acordo com a figura 7 deveria implicar em um tamanho de aproximadamente 300 µm, e não uma dimensão máxima de 50 µm como mostrado na figura 10.

Justifica-se este esboço por no primeiro corte com disco diamantado já Ter sido encontrada a macroinclusão. Desta forma o critério apresentado nas figuras 8 e 9, em termos de relacionar a maior dimensão com o gabho, não pode ser seguido. Este fato deve-se a dificuldade da localização exata da macroinclusão pelo ultra-som.

A figura 12 mostra o espectro obtido por microanálise através de espectroscopia por dispersão de energia obtido para a macroinclusão da figura 10. Justifica-se o uso da microsonda para este caso em função da dimensão encontrada para o primeiro corte ser muito pequena para o ganho obtido. Levando em conta sua morfologia, também diferente da encontrada na figura 8, fez-se útil confirmar o espectro investigado como sendo macroinclusão. Confirmou-se esta sendo uma macroinclusão de  $Al_2O_3$ .

Ressalta-se por fim, a dificuldade em ser obtida a exata dimensão da macroinclusão devido a imprecisão gerado pelo ultra-som e a imprecisão do corte feito com disco diamantado. Busca-se, como alternativa, utilizar-se de uma retífica para se obter um corte mais preciso e utiliza-se na análise de ultra-som um cabeçote focalizado.

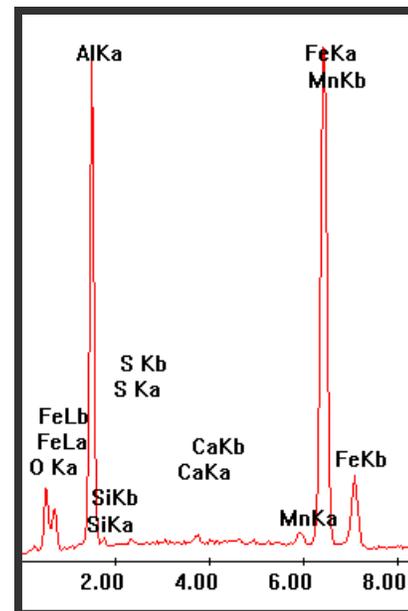
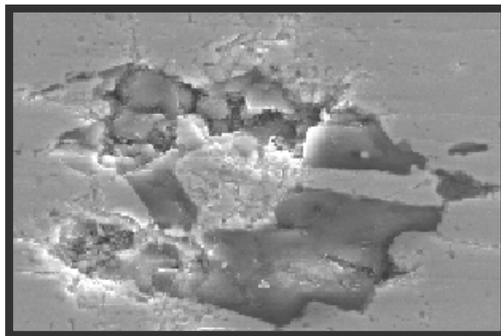


Figura 12 - Caracterização da macroinclusão do terceiro corpo de prova via MEV

Estes dados são apenas preliminares. Serão realizadas mais de análises da maior dimensão das macroinclusões, para assim podermos montar uma relação confiável de ganho em dB pelo tamanho da partícula.

#### **4- CONCLUSÕES**

O desenvolvimento de técnicas capazes de identificar macroinclusões em semi-produtos de lingotamento contínuo é de vital importância quando se deseja garantir o grau de limpeza dos aços, pois auxilia a monitoração dos mesmos na posterior etapa de laminação.

A técnica ultra-sônica mostrou-se eficaz na localização das macroinclusões nos tarugos oriundos do lingotamento contínuo.

O uso de amostras recalçadas mostrou-se eficiente, pois aumentou a dimensão das macroinclusões, facilitando a detecção das partículas pelo ultra-som.

A determinação de uma curva de calibração que relacione tamanho da partícula detectada com o ganho ultra-sônico faz-se necessária. Para a obtenção da mesma, necessita-se encontrar a maior dimensão da macroinclusão.

Para um ganho de 68 dB, a maior dimensão da macroinclusão foi de 0,42 mm. Notou-se que a macroinclusão, após recalçada, apresentou-se esfacelada. Para encontrar o tamanho original da macroinclusão, necessita-se relacionar o grau de redução com as dimensões finais da mesma. Este trabalho encontra-se no momento em estudos.

#### **5- AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio do CNPq, PADCT/FINEP e Grupo Gerdau S.A. – Aços Finos Piratini na realização deste trabalho, bem como ao auxílio dos bolsistas Carlos D'ávila, Hermann Sagmeister e Letícia Ribeiro.

#### **6- REFERÊNCIAS**

- [1] Kilen, J. ; Maka, J.; Cotation Volumétrique des Inclusions par Ultrasons; Revue de Métallurgie-CIT. 71 ( 1984 )
- [2] Bilmes, P. ; Gonzáles, J.C. ; Evaluación de las inclusiones en aceros modernos de colada continua, Ver. Metal. Madrid, 1992., 28p
- [3] Madias, J.; Seminário de Fusão e Refino e Solidificação de Aços, 1994, pp. 859-868
- [4] Madias, J. ; Deoxidation practice- Influence on microinclusion cleanness of AlCaK, IASIDERAR Report, June 1993.
- [5] Jacobi, H. ; Balthmann, H. J. ; Gronsfel, J.; Neuartige Bestimmung des Makro-Reinheitsgrades am unkonventionell gewalzten Stangguß ; Stahl u. Eisen 108 ( 1988 ) Nr. 20, S. 946/58.

## **DETERMINATION OF MACROINCLUSIONS IN INGOT CASTING BILLETS USING ULTRASONIC TECHNIQS**

*The determination of the level of inclusions of billets gotten in continuous casting is of basic importance in the process of steel production, therefore its level indicates the degree of cleanness of the material that later will be plated.*

*This work presents the preliminary results of the adaptation of one technique of ultrasonic inspection that it aims at to determine the presence of macroinclusions in billets of continuous casting. Samples of billets had been stressed with the objective to break up and/or to prolongate the macroinclusions, thus magnifying the degree of detention for the ultrasonic inspection. Later the samples had been inspected by ultrasound for the verification of possible discontinuities. On the basis of the location of the discontinuities, had been made cuts in the samples, with intention to define the type and to determine its dimensions through optic and electronic microscopy of sweepings, relating them with the gotten ultrasonic profit in the inspection*

*Key words-: Ultrasonic, Macronclusions, Billets, Ingot Casting*