

TIRAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO UTILIZADAS NA CONFORMAÇÃO DE PEÇAS PELO PROCESSO DE ESTAMPAGEM “FINEBLANKING”¹

Antenor Ferreira Filho²
Fabio Stagetti³

Resumo

O contínuo desenvolvimento da indústria automobilística tem implicado na exigência em se melhorar o desempenho da qualidade do acabamento de corte durante estampagem, devido ao formato cada vez mais complexo das peças utilizadas na linha automotiva, sendo assim, as indústrias tiveram que acompanhar esta evolução. Surgiu então o processo de manufatura denominado de corte fino "fineblanking", capaz de desenvolver uma estampagem fina que permite a obtenção de peças dentro de estreitos níveis de precisão e com superfície de corte absolutamente lisa, isento de estouro de corte. Pelo fato deste processo proporcionar excelente acabamento de corte, ele tem sido utilizado em diversas aplicações de uso industrial. No presente trabalho será apresentado a influência da microestrutura de um aço de médio teor de carbono, laminado a frio, no acabamento do corte de peças conformadas pelo processo "fineblanking". Serão discutidas as etapas de processamento das tiras laminadas a frio para se atingir as condições adequadas de microestrutura, com ênfase ao processo de recozimento de esferoidização, considerado de grande importância para a qualidade final do produto.

Palavras-chave: Fineblanking; Microestrutura; Tiras de aço laminadas a frio.

COLD ROLLED STEEL STRIP IN THE CONFORMATION OF PARTS FOR THE PROCESS OF STAMPING “FINEBLANKING”

Abstract

The continuous development of the automobile industry has implied in the requirement in to improve the performance the quality of the cut finishing during stamping, due to the format each more complex of the parts used in the automotive line. The process of manufacture called “fineblanking” is capable to develop a fine stamping that inside allows the attainment of parts of narrow levels of precision and with surface of absolutely smooth cut. For the fact of this process to provide excellent finishing of cut, it has been used in several industrial applications. In the present paper will be presented the influence of the microstructure of a medium carbon steel, in the finishing of the cut of parts conformed for the process “fineblanking”. The stages of processing of the steel strip will be argued, with emphasis to the process annealing of spheroidizing, considered of great importance for the final quality of the product.

Key words: Fineblanking; Microstructure; Cold rolled steel.

¹ *Contribuição Técnica ao 43º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Curitiba, PR de 17 a 20 de outubro de 2006.*

² *Doutor em Metalurgia, Engenheiro Metalurgista e de Produção, Diretor Industrial da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Produto e Desenvolvimento da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria, principalmente a automobilística, tem implicado na exigência de se melhorar o desempenho da qualidade do acabamento de corte de peças utilizadas nas linhas de produção devido a geometrias cada vez mais complexas.^[1] Estas dificuldades foram suplantadas com o surgimento do processo de manufatura denominado de corte fino ou “fineblanking”, considerado como sendo um processo capaz de produzir peças estampadas com bordas lisas isentas de estouro. Pelo fato do processo fineblanking proporcionar excelente acabamento de corte obtêm-se peças prontas para montagem de componentes, eliminando operações subseqüentes, como rebarbar, fresar, alargar, brochar ou mesmo retificar. Desta forma os custos de fabricação podem ser reduzidos consideravelmente.

Para que se possa fabricar peças por este processo é necessário que se atenda certas premissas como:

- Equipamento: prensas rígidas de triplo efeito com regulagem de pressão de forma independente uma da outra;
- Ferramental: jogos de matrizes de elevadíssima precisão com emprego de folgas muito pequenas da ordem de cinco micrometros.
- Aço: características especiais.

O baixo nível de inclusões e as condições de processamento do aço, principalmente a laminação e o tratamento térmico adequado, definem a microestrutura final ideal dos produtos laminados a frio utilizados no processo fineblanking.

1.1 Corte por Processo Convencional e Processo “Fineblanking”

O processo de corte envolve forças cisalhantes de magnitude suficiente para romper o material no plano de cisalhamento. Sabe-se que um dos parâmetros de processo mais importantes a ser estudado é a folga entre o punção e a matriz, por ter influência direta na formação de rebarba do perfil de corte.

No processo convencional, conforme Figura 1,^[2] o corte é realizado através do movimento relativo de um punção de corte contra uma matriz, causando a separação da peça da chapa. O objetivo do corte pode ser tanto realizar um furo com o formato do punção na chapa quanto para separar uma peça da chapa. Neste tipo de processo o perfil de corte pode ser geralmente dividido em quatro zonas distintas.

A Figura 2 apresenta as características de corte proveniente do processo convencional, indicando cada uma das regiões mencionadas além de um esquema típico do processo com o respectivo acabamento de superfície de corte.^[2,3]

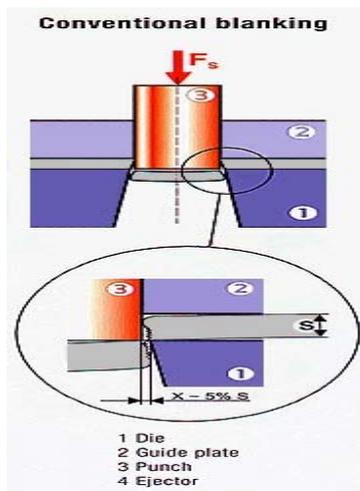


Figure 1. Processo de corte convencional

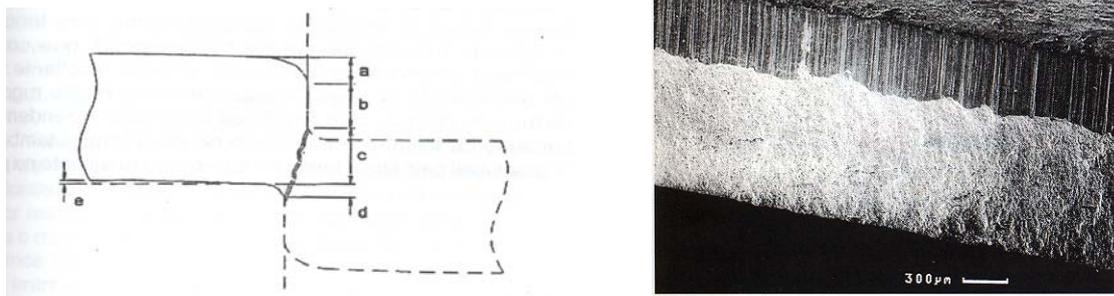


Figure 2. Principais regiões de corte pelo processo de convencional : a – zona de deformação, b – zona de corte, c – zona de estouro, d – rebarba, e – empenamento da peça.

a) Zona de deformação: Com a atuação da força do punção sobre a chapa surge inicialmente uma deformação elástica. A chapa arqueia-se sob o punção e tende a levantar suas extremidades devido à folga entre o punção e a matriz promovendo uma deformação plástica caracterizada por um arredondamento permanente da borda da chapa, com um perfil que termina tangenciando a próxima fase de cisalhamento, correspondendo a uma altura de 5 a 10 % da espessura da chapa.

b) Zona de corte: Corresponde a faixa brilhante ao redor de todo o contorno de corte, com espessura constante e correspondente à região que efetivamente sofreu o corte. O material escoou devido ao esforço realizado pelo punção sobre a matriz formando a zona de cisalhamento. O modo principal de deformação é cisalhamento ao longo de um plano determinado pelo punção e pela matriz, perpendicular ao plano da chapa.

c) Zona de estouro: É a faixa irregular da secção da chapa, levemente inclinada, que corresponde ao trecho onde ocorreu a fratura, visto que a área útil resistente vai diminuindo até que se dê a separação total das partes.

d) Rebarba: Parte do material que é arrastado pela ferramenta, permanecendo aderido à borda.

Por outro lado, o processo fineblanking se caracteriza pelo emprego de folgas muito pequenas, da ordem de micrometros, prensas e jogos de matrizes muito rígidas, através dos quais é possível a produção de partes e peças que apresentem superfícies de corte isentas de defeitos e que atendam as mais restritas exigências de qualidade de corte.^[1] Aqui antes da operação de corte, o material é fixado através de um prendedor de chapas com elemento de fixação na matriz inferior (F_R). Durante o processo de corte, a chapa é submetida a um esforço inferior adicional de um contrapunção (F_C), evitando assim o empenamento da chapa e, conseqüentemente, a isenção da região de estouro. Neste instante é executada a operação de corte, onde a retirada do restante da chapa do punção é realizada pelo mesmo prendedor de chapas e o contrapunção executa a operação de extração da peça cortada.

A Figura 3^[2] apresenta as características de corte proveniente de um processo fineblanking além de um esquema típico do processo com o respectivo acabamento de superfície de corte, conforme mostrado na Figura 4.^[3]

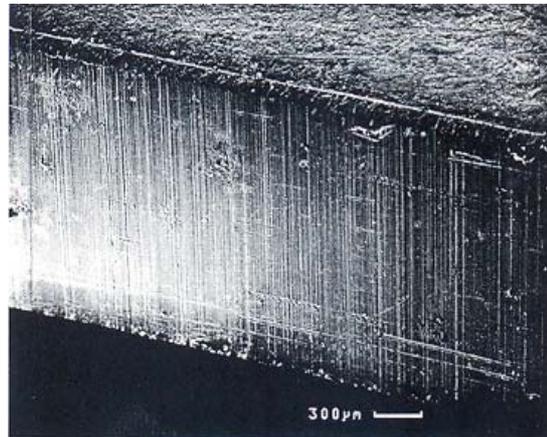
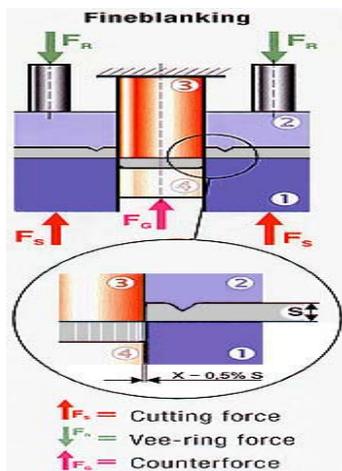


Figura 3. Processo de corte fineblanking

Figura 4. Acabamento de corte processo fineblanking

As Figuras 5 e 6^[5,4] apresentam de forma ilustrativa o aspecto de corte de uma mesma peça, utilizando o processo de corte convencional e o processo fineblanking.

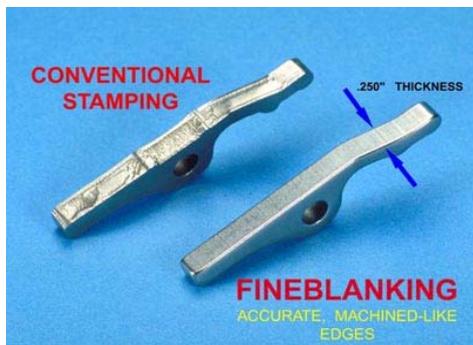


Figura 5. Mesma peça com corte convencional (acima) (esquerda) e fineblanking (direita)

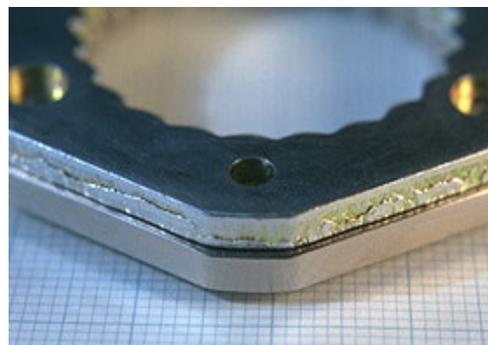


Figura 6. Mesma peça com corte convencional fineblanking (abaixo)

Alguns exemplos de aplicações de peças produzidas através do processo fineblanking podem ser vistas na Figura 7.^[6] Nota-se que a grande maioria das peças são empregadas na indústria automobilística.



Figura 7. Exemplos de aplicações

1.2 Influência da Microestrutura do Aço no Processo Fineblanking

Pode-se atribuir à microestrutura do aço o fator de maior influência no sucesso da operação de corte. A adequada microestrutura do material é alcançada através da completa esferoidização dos carbonetos presentes na microestrutura do material laminado a quente quando o aço é mantido em temperaturas e tempos adequados para que ocorra uma mudança na morfologia destes. Nestas aplicações o que se objetiva é uma microestrutura totalmente esferoidizada.^[7]

A influência da microestrutura do material no acabamento de borda das superfícies cizalhadas para uma peça em aço carbono do tipo SAE 1045 pode ser constatada a seguir:

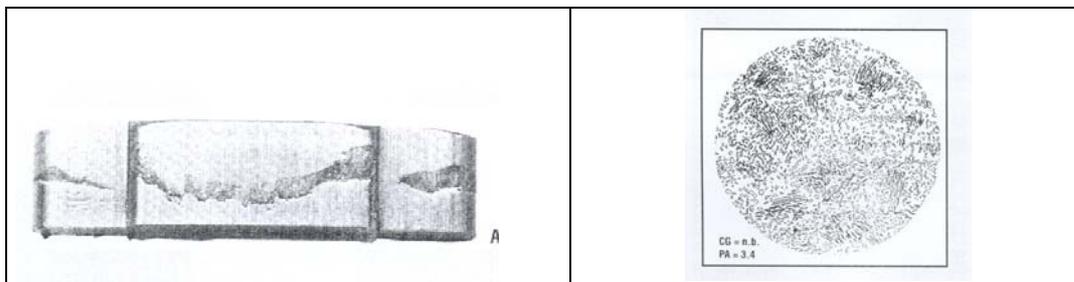


Figura 8. Região de corte apresentando fissuras devido a estrutura parcialmente esferoidizada.

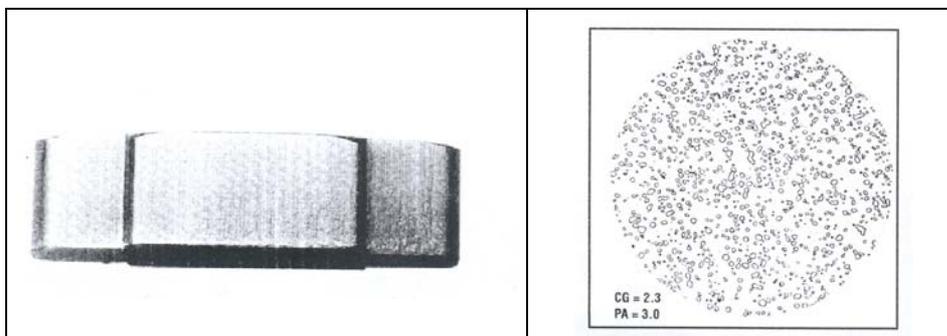


Figura 9. Região de corte isento de fissuras proveniente de uma microestrutura 100 % esferoidizada.

A microestrutura heterogênea composta de ferrita e cementita lamelar, mostrada na Figura 8,^[3] é a causa das fissuras sobre a superfície cisalhada após o corte fino. O corte fino sem a formação de fissuras, conforme Figura 9,^[3] é o resultado de uma microestrutura coalescida, com partículas duras de cementita esferoidizadas. Esta estrutura é proveniente de uma operação de recozimento especial.

1.3 Produção de Tiras de Aço Laminadas a Frio para Processo Fineblanking

O processo a frio envolve etapas de decapagem, corte, laminação a frio e recozimento, entre outras, como pode ser observado através da Figura 10. Entretanto na produção desta família especial e aços o processamento que o aço deve ser submetido para que atinja a condição ideal de propriedades mecânicas e microestrutura deve seguir rígidos controles durante sua fabricação, principalmente durante as etapas de laminação e recozimento que serão apresentadas a seguir.

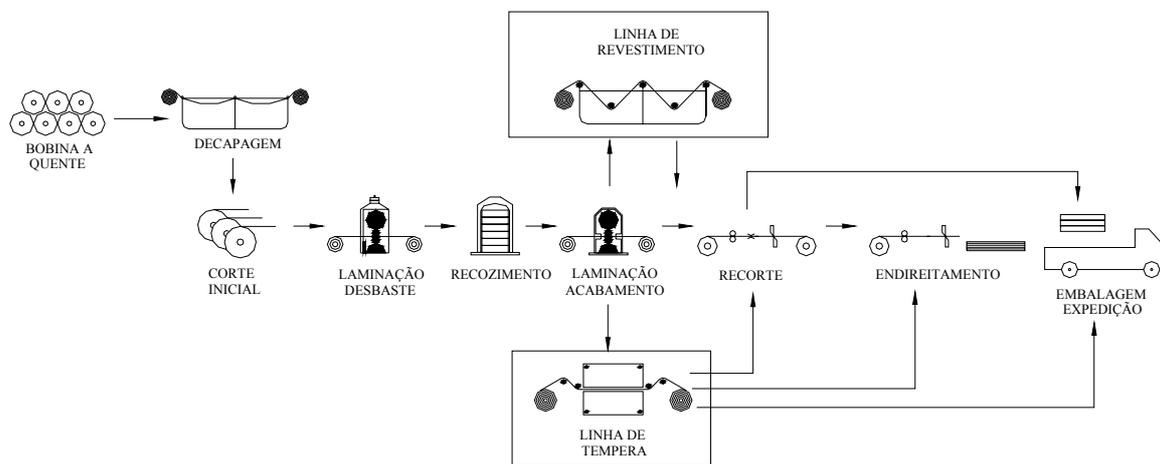


Figura 10. Fluxo esquemático do processo de relaminação.

Laminação a frio

Durante a laminação a correta definição da porcentagem de redução a frio em espessura é importantíssima para que se possam atingir as propriedades requeridas. Isto ocorre devido à redução a frio ser o potencial termodinâmico ideal para recristalização e coalescimento durante a etapa posterior. O mais moderno laminador da Brasmetal Waelzholz equipado com sistema AGC e controle de espessura por raios-x são capazes de atender plenamente estas exigências.^[7]

Recozimento

Na condição de laminado a quente, os aços de baixo teor de carbono apresentam uma microestrutura predominantemente de ferrita e poucas áreas de perlita, relativamente dúctil. Enquanto que os aços de baixa liga, médio e alto teor de carbono apresentam uma microestrutura predominante de colônias de perlita (fase dura e frágil) dispostas em lamelas grossas ou finas, dependendo das condições de resfriamento da

bobina a quente. Esta microestrutura confere aos aços alta dureza, elevados limites de escoamento e de resistência e baixo alongamento. Estes valores são acentuados na medida em que as colônias de perlita se tornam mais finas. De forma que para se alcançar uma boa condição de corte no processo fineblanking, a bobina laminada deve ser submetida a recozimentos especiais com o objetivo básico de aumentar sua ductilidade e promover uma microestrutura adequada.

A redução de dureza do material é alcançada através de um processo de esferoidização dos carbonetos presentes no material, quando o aço é mantido em temperaturas e tempos adequados para que ocorra uma mudança na morfologia destes carbonetos.

No caso de tiras laminadas a frio o tratamento térmico necessário para a obtenção da microestrutura ideal é tradicionalmente feito em fornos do tipo campânula onde, para se obter uma esferoidização completa e uniforme em toda sua extensão somente se torna possível através de um rígido controle de temperatura e de taxas de aquecimento e resfriamento durante todo o ciclo de recozimento. Para que estas condições sejam satisfeitas é recomendável a utilização de recozimento do tipo HPH (*High Performance Hidrogen*), onde se utiliza uma atmosfera de 100% hidrogênio.^[7]

A Figura 11^[7] apresenta o moderno forno de recozimento de alta convecção em operação na Brasmetal Waelzholz utilizado para produção destes aços.



Figura 11. Forno de recozimento de alta convecção da Brasmetal Waelzholz.

Na Tabela 1 são apresentados valores típicos de propriedades mecânicas para um aço SAE 1080 na condição de laminado a quente e laminado a frio em condições ideais para o processo de fineblanking.

Tabela 1. Valores típicos de propriedades mecânicas para um aço SAE 1080 nas condições de laminado a quente e laminado a frio, coalescido.

Condição	Propriedades Mecânicas			
	LR (N/mm ²)	LE (N/mm ²)	Along. (%) (Δ5)	Dureza (HRB)
L.Q. Perlítico	900/1100	500/700	8/12	95 mín.
L.F. Coalescido	600	300	28/30	90 máx.

2 MATERIAIS E METODOS

O presente trabalho tem como objetivo principal comparar as microestruturas e o desempenho de duas peças conformadas pelo processo fineblanking. As peças estudadas, conforme Figura 12, são utilizadas no regulador de altura de cintos de segurança empregadas na indústria automobilística. São peças de aço SAE 1050 cuja composição química está descrita na Tabela 2.



Figura 12. Vista superior da peça analisada

Tabela 2. Composição química das peças estudadas – Norma SAE J 403

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Al
Peça 1 (boa)	0,50	0,73	0,22	0,017	0,007	0,002
Peça 2 (ruim)	0,48	0,71	0,20	0,015	0,006	0,002
Especificação SAE 1050	0,48/0,55	0,60/0,90	-	< 0,030	< 0,050	-

Ambos os materiais foram processados seguindo o fluxo indicado na Figura 10. As diferenças de processo ficaram apenas por conta do ciclo térmico de recozimento e o equipamento (forno) utilizado. Enquanto o material da peça 1, considerado adequado à aplicação foi recozido em um forno de alta convecção com atmosfera de 100% H₂(HPH) o material da peça 2, considerado inadequado, foi recozido em forno HN sob atmosfera de N₂.

A caracterização das peças se deu através da medição da dureza. Como método de análise, foram realizadas 3 (três) medições de dureza, e como resultado foi considerando a média das medições. Além do ensaio de dureza foi realizada análise metalográfica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 13 e 14 apresentam as microestruturas das peças estudadas e suas respectivas superfícies de acabamentos de corte após processo fineblanking.

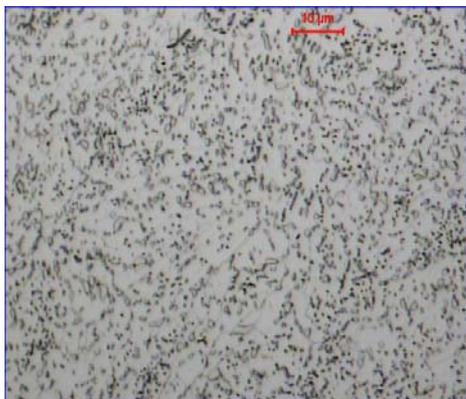


Figura 13. Peça 1 considerada boa, microestrutura esferoidizada 100%. Aumento:1000 X – Nital 3%



Figura 14. Peça 2 considerada ruim, microestrutura parcialmente esferoidizada. Aumento:1000 X - Nital 3%

Na Figura 13 que representa a peça considerada boa, podemos observar uma microestrutura totalmente coalescida com cementita homogeneamente dispersa na matriz ferrítica. Diferentemente da Figura 14 onde a microestrutura apresenta-se parcialmente lamelar (aproximadamente 50 % de coalescimento) com cementita dispersa heterogeneamente na matriz ferrítica. O número de fissuras, que representa o acabamento de corte, diminui fortemente quando o grau de coalescimento atinge valores próximos a 100% devido a um melhor recozimento. Atingindo-se um grau de coalescimento completo, as fissuras no corte desaparecem completamente, conforme pode ser visto na Figura 13. Paralelamente ao grau de coalescimento da cementita, a distribuição homogênea de partículas duras sobre toda a espessura do material também é um fator de grande influência na qualidade do corte. Isso ocorre devido ao fato das partículas esféricas e duras da cementita penetrarem na matriz ferrítica, que é mais dúctil, durante o processo de corte, evitando assim a sua fratura. Caso a cementita apresentar-se com morfologia lamelar, sua interface age como microtrincas, gerando assim a zona de estouro.^[1] Em relação às outras partículas precipitadas na matriz, como carbonetos, nitretos e sulfetos, é importante que estejam distribuídos de forma homogênea e em tamanho tal que não comprometam a ductilidade do aço, daí a

necessidade de se trabalhar com aços de boa qualidade interna, ou seja, baixo nível de inclusões não metálicas.

Como a busca de uma estrutura coalescida tende a reduzir a resistência mecânica do aço, na sua produção deve-se otimizar a relação propriedade mecânica/qualidade de corte, sempre se objetivando a característica de maior importância.

Os resultados de dureza obtidos nas peças estudadas no trabalho encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de dureza nas peças

	Dureza (HRB)
Peça 1	86,2
Peça 2	85,3

Pode-se verificar através da tabela 3, que não ocorreu diferença significativa entre os valores de dureza das duas peças. Por apresentar estrutura parcialmente lamelar, esperava-se obter, na peça 2, um valor de dureza maior do que a peça 1, visto que estas lamelas de cimento atuam mais fortemente como barreiras para a movimentação de discordâncias, entretanto isso não foi observado. Neste caso um ensaio mais completo como o de tração seria mais indicado para verificar possíveis diferenças de propriedades mecânicas e correlacioná-las com a microestrutura.

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos conduz as seguintes conclusões:

- A concepção do ferramental e equipamentos de estampagem associados a um material adequado utilizados no processo fineblanking promove uma região de corte isento de fissuras, diferentemente do aspecto de corte proveniente dos processos convencionais de corte e estampagem.
- O nível de coalescimento e homogeneidade dos carbonetos presentes no material estão diretamente relacionados com o sucesso da obtenção de corte isento de fissuras no processo fineblanking. Materiais com nível de coalescimento inferior a 100 % estão susceptíveis a apresentarem fissuras na região de corte.
- Um simples ensaio de dureza pode não revelar um problema microestrutural que prejudica o desempenho de corte. O ensaio de tração e a análise metalográfica são os ensaios mais adequados para detecção de possíveis anomalias microestruturais que possam prejudicar o bom desempenho do processo.
- Durante a produção de aços laminados a frio para aplicações em processos fineblanking somente um rígido controle durante a laminação a frio e o recozimento podem proporcionar ao produto final um bom desempenho. Reduções a frio insuficientes ou mesmo elevadas bem como descontrole dos parâmetros de recozimento podem comprometer a microestrutura e propriedades exigidas pelo material a ser processado.
- Além do rígido controle durante a laminação a frio e o recozimento é fundamental se trabalhar com aços de boa qualidade interna, ou seja, com baixos níveis de inclusões não metálicas.

- Este estudo foi de grande importância para um melhor entendimento do processo de corte fineblanking, bem como da influência dos parâmetros de processo na microestrutura de aços de médio e alto teor de carbono no aspecto final de acabamento de corte de peças produzidas.

REFERÊNCIAS

- 1 Anais do XXXVI Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da AMB; Belo Horizonte, MG, Setembro/99 ; pág. 297/306.
- 2 Disponível em <<http://www.dcross.co.nz>>
- 3 Cold Forming and Fineblanking – A handbook on cold processing, material properties and part desing; pág. 63 – 65; 138; 152.
- 4 Disponível em <<http://www.moriiron.com>>
- 5 Disponível em <<http://www.petersenprecision.com>>
- 6 Disponível em <http://www.cdw.de>
- 7 Brasmetal Waelzholz – Informativo BW News – Novembro/02.