

Tiras de aço médio e alto teor de carbono para estampagem profunda utilizadas em componentes automotivos

**Antenor Ferreira Filho
Ricardo Strangis Cumino**

RESUMO

A contínua busca da melhoria da qualidade e a diminuição dos custos tem levado ao desenvolvimento e aprimoramento dos aços de alto e médio teor de carbono destinados a estampagem profunda. O aço carbono devido a sua característica básica e seu baixo custo é atualmente a principal matéria-prima utilizada para esta aplicação. No presente trabalho são apresentadas as etapas pelas quais o aço carbono é submetido até atingir as características necessárias para sua utilização em processos de conformação severa. O caminho percorrido pelo aço bruto até se

transformar em produto final passa por inúmeros processos de beneficiamento. Quando laminado a frio apresenta uma série de propriedades importantes, sendo algumas oriundas da produção do aço bruto, outras provenientes da laminação a quente e outras enfim do próprio processo de laminação a frio. O trabalho destaca o processamento a frio destes aços desde as etapas de decapagem, corte, laminação a frio, recozimento entre outras. Finalmente são apresentados exemplos de aplicação em componentes automotivos

1. INTRODUÇÃO

Os aços ao carbono, particularmente os planos laminados, são de longe os materiais metálicos mais produzidos no mundo. Embora grande parte de sua produção seja usada em aplicações simples, sua tecnologia de processamento e suas propriedades têm passado por um contínuo processo de aperfeiçoamento e evolução, pois a crescente concorrência de outros materiais nos últimos anos trouxe novos impulsos ao desenvolvimento e processamento do aço que contribuíram significativamente para melhoria de qualidade e economia destes materiais.

O segmento mais importante, economicamente falando dos aços planos laminados é o voltado à estampagem, principalmente o dos aços de baixo teor de carbono. A estampagem de chapas de aço é um processo largamente aplicado nas indústrias automobilísticas, de eletrodomésticos, aeronáutica entre outras. Sua utilização se deve em geral às boas propriedades mecânicas, custos relativamente baixos, ser reciclável e principalmente pela capacidade de adquirir formas complexas.

Uma grande quantidade de novas aplicações em aços de médio e alto teor de carbono, utilizados em componentes automotivos, tem sido desenvolvidos para os quais também se exige estampagem profunda.

No caso de elevadas exigências de conformação a frio, como as de estampagem profunda, tem-se disponível as qualidades de aços de baixo teor de carbono. É verdade que estas qualidades oferecem excelentes características quanto à conformação, entretanto podem ser apenas limitadamente submetidos a tratamentos termoquímicos e devido ao seu baixo teor de carbono, jamais beneficiados, ou seja, temperados e revenidos, em aplicações onde se exige altos

valores de resistência mecânica. Para que esta propriedade seja satisfeita é necessário o uso de aços de médio e alto teor de carbono. Estes aços por sua vez possuem uma baixa capacidade de conformação e as condições tornam-se ainda mais críticas a medida de que se eleva o teor de carbono, pois a capacidade de conformação cai substancialmente.

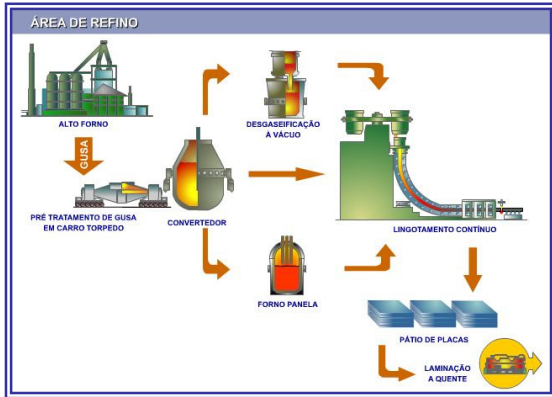
O caminho percorrido pelo aço bruto até se transformar em produto final passa por inúmeros processos de beneficiamento. Quando laminado a frio apresenta uma série de propriedades importantes, sendo algumas oriundas da produção do aço bruto, outras provenientes da laminação a quente e outras enfim do próprio processo de laminação a frio.

Os itens a seguir apresentam um resumo das etapas de processamento desde a produção do ferro gusa até o produto final laminado a frio.

2. PRODUÇÃO DE BOBINAS DE AÇO LAMINADAS A QUENTE

O aço para fabricação de componentes automotivos provém, na sua maioria de usinas siderúrgicas integradas. De maneira geral a seqüência do processo segue as seguintes etapas, conforme Figura 1.

Figura 1 - Seqüência de processo na aciaria



2.1. PRODUÇÃO DE GUSA -O gusa líquido é o principal insumo utilizado na fabricação de Aço na Aciaria. Tem como principais elementos químicos o Fe (94%), C (4,5%), Si (0,40%), P e S com teores menores de 0,100%.

2.2. REFINO PRIMÁRIO

2.2.1. Pré Tratamento de Gusa (P.T.G.) - A estação de Pré-tratamento de Gusa tem como objetivos realizar operações de refino do ferro gusa líquido adequando a sua composição química conforme o tipo de aço a ser produzido. Tal como o Forno Panela, a estação de Pré-Tratamento de gusa realiza parte das operações de refino que apresentam certas limitações no processo LD.

Os principais tratamentos realizados em uma estação de P.T.G. são:

- **Dessiliciação:** É responsável pela redução do silício contido no gusa, através de adição de carepa. Esta adição ocorre simultaneamente com a virada do gusa na panela.
- **Desfosforação:** É responsável pela redução do fósforo contido no gusa, através de injeção profunda de agentes a base de CaO , CaF_2 e Fe_2O_3 . A adição de desfosforante é feita através de lança refratada, que é imersa até aproximadamente a 1 m do fundo da panela.
- **Dessulfuração:** Responsável pela redução do enxofre contido no gusa, através de injeção profunda de agentes

a base de CaO e CaF_2 . Esta adição é feita através de lança refratada, que é imersa até aproximadamente a 1 m do fundo da panela.

2.2.2. Processo LD - A carga do LD é composta geralmente por sucata e gusa líquido tratado quando necessário na estação de Pré Tratamento de Gusa. A produção de aço pelo processo LD, é realizada através do sopro de oxigênio puro que promove a oxidação do carbono, manganês, silício, fósforo e outros elementos eventualmente contidos na carga.

Durante o vazamento do aço para a panela, é feita adição de ferro ligas e desoxidantes para acerto da composição química do aço.

2.3. REFINO SECUNDÁRIO - O processo de refino secundário tem por principais objetivos o ajuste fino da composição química e temperatura do aço.

2.3.1. Forno Panela - O Forno panela é um dos principais equipamentos utilizados no Refino Secundário. Tem como principais finalidades:

- Homogeneização de Temperatura e composição química através da agitação do banho;
- Diminuir o tempo de corrida e aumentar a produtividade do forno primário;
- Permitir o vazamento do aço no forno primário em temperaturas mais baixas aumentando a vida do revestimento refratário;
- Melhorar a limpeza do aço eliminando inclusões e melhorando a qualidade; Viabiliza a produção de novos tipos de aços, etc.

2.3.2. VOD - O processo de VOD utiliza o tratamento sob vácuo que é imprescindível quando se deseja atingir níveis de carbono ultrabaixo, menor do que 100 ppm, nos aços carbono, siliciosos e inoxidáveis.

No VOD, podem ser realizados basicamente 2 tipos de tratamento:

- Descarburização a vácuo com sopro de oxigênio;
- Desgasificação a vácuo sem sopro de oxigênio.

2.4. LINGOTAMENTO - O desenvolvimento das tecnologias siderúrgicas, passando de lingotamento convencional (pequenas unidades fundidas – lingotes) para conversores de grandes dimensões onde o aço tem composição homogênea, em conjunto com a técnica de lingotamento contínuo trouxe além das vantagens econômicas, uma nítida melhoria no produto laminado a quente no que se refere à:

- Homogeneidade na composição química do aço
- Diminuição de vestígios de elementos estranhos
- Minimização de formação de inclusões
- Melhoria de superfície

2.5. LAMINAÇÃO A QUENTE - Os aços usados para fabricação de componentes automotivos, são obtidos por lingotamento contínuo e a seguir laminados em modernos laminadores. Com a melhoria das técnicas de laminação, conseguiu-se avanços positivos sobre a espessura, largura e perfil transversal das bobinas, assim como na estabilidade dimensional e térmica das mesmas.

2.5.1. Processo de Reaquecimento - Tem como objetivo aquecer as placas até atingir a temperatura de laminação, com encharque adequado, isto é, menor diferença de temperatura entre o centro e a periferia da placa. Realizado nos fornos Walking Beam ou Pusher.

2.5.2. Processo de Laminação de Bordas - Tem como objetivo atender a largura nominal solicitada pelo cliente, bem como atender às tolerâncias especificadas. Etapa de processo realizada no laminador Rougher Mill, através de cilindros verticais (Edger).

2.5.3. Processo de Laminação de Desbaste - Tem como objetivo reduzir a espessura das placas como envio para o laminador acabador. Etapa de processo realizada no laminador Rougher Mill, quádruplo reversível.

2.5.4. Processo de Laminação de Acabamento - Tem como objetivo atingir a espessura nominal solicitada pelo cliente, bem como atender às tolerâncias especificadas, uniformes. Etapa de extrema importância para a obtenção de planicidade e perfil transversal necessário à aplicação do produto. Etapa realizada no laminador Steckel Mill, quádruplo reversível.

2.5.5. Processo de Resfriamento de Bobinas - Tem como objetivo atender a especificação de propriedades mecânicas solicitadas pelo cliente. Etapa de processo realizada na Zona Úmida (Colling Zone - chuveiros).

2.5.6. Processo de Bobinamento - Tem como objetivo bobinar as tiras produzidas. Etapa de processo realizada na Bobinadeira Final (Down Coiler).

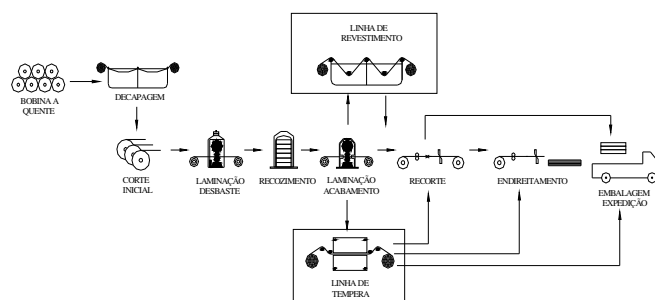
3. PRODUÇÃO DE TIRAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO

As características dos aços laminados a frio são definidas através da composição química, condições de laminação a quente e a frio.

A Figura 2 mostra um fluxo esquemático do processamento desde bobinas a quente até a tira laminada a frio. No percurso padrão de produção são percorridas as etapas de:

- Decapagem
- Corte Inicial
- Laminação de desbaste
- Recozimento
- Laminação de acabamento
- Revestimento

Figura 2 - Seqüência de processo para obtenção de tiras laminadas a frio



3.1 DECAPAGEM - Para a obtenção de uma superfície limpa, isenta de óxidos e poros, a bobina é inicialmente submetida a uma decapagem química para remoção dos óxidos superficiais (carepa).

3.2. CORTE INICIAL - Etapa onde se realiza o corte longitudinal da bobina de forma a adequá-la em termos de largura conforme capacidade dos laminadores.

Para que se possa obter um produto final dimensionalmente perfeito, além do perfil transversal da tira variar pouco, as medidas do perfil devem se manter uniformes em todo comprimento do rolo.

Portanto, em etapa preliminar à laminação de desbaste, deve-se selecionar /especificar o laminado a quente de forma a apresentar um perfil transversal mais uniforme possível, ou seja, o mínimo de cunha e coroamento. Deve-se ainda nesta etapa dimensionar adequadamente os refilhos das bordas.

3.3. LAMINAÇÃO DE DESBASTE - A laminação de desbaste é feita em modernos laminadores quádruplos reversíveis que possuem controles automáticos de espessura, com os quais se assegura a manutenção de tolerâncias muito restritas de espessura ao longo de todo comprimento da tira.

O sensível e preciso sistema de regulagem da força de laminação e controle de espessura é capaz, durante a

laminação, de corrigir a maior parte da variação da bobina proveniente da laminação a quente. Variações de microestrutura ao longo da bobina a quente poderão trazer prejuízos posteriores à estabilidade dimensional do produto, portanto, é muito importante na laminação a quente estabelecer requisitos rígidos no que se refere à estabilidade dimensional e à uniformidade térmica.

Por meio de retífica e abaulamento (bombê) associado ao emprego de recursos de flexão dos cilindros de laminação, pode-se atuar sobre a precisão dimensional e exatidão de planicidade da tira.

Durante a laminação de desbaste a correta definição da porcentagem de redução a frio é importantíssimo para que se atinja com sucesso as propriedades requeridas. Esta etapa além de objetivar a adequação dimensional visa melhoria de acabamento de superfície através da redução a frio e atua como potencial termodinâmico para etapa posterior de recozimento.

3.4. RECOZIMENTO - Na condição de laminado a quente os aços de médio e alto teor de carbono apresentam microestruturas constituídas basicamente de colônias de perlita lamelares grossas ou finas dependendo das condições de resfriamento da bobina a quente.

A estrutura perlítica 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.

Para que se alcance uma condição de estampagem o aço laminado a quente deve ser recozido.

Recozimento é um termo genérico que engloba vários tratamentos térmicos, com objetivo básico de aumentar a ductilidade dos materiais metálicos.

Dentre os tratamentos de recozimento encontra-se o de esferoidização, aplicado a aços de alto e médio carbono a serem conformados, para obter-se uma microestrutura com menor dureza, adequada a estas operações. Esta redução de dureza do material é conseguida pela esferoidização dos carbonetos presentes em uma matriz ferrítica, isto é alcançado quando o aço é mantido em temperaturas e tempos adequados para que ocorra uma mudança na morfologia destes carbonetos.

Este recozimento é realizado tradicionalmente em fornos do tipo campânula (sino), nos quais se utiliza gás de proteção como sendo uma mistura de aproximadamente 95% de N_2 e 5% de H_2 .

Instalações modernas de recozimento utiliza atmosferas de 100% H_2 do tipo HPH (High Performance Hydrogen).

As curvas esquemáticas de temperaturas mostradas na Figura 3 representam o ponto quente e frio no interior de uma carga de recozimento.

O processo convencional de recozimento apresenta não só um tempo de recozimento muito superior devido a desfavorável transmissão de calor, mas também grandes

diferenças de temperaturas entre ponto quente e frio da carga e até mesmo um claro superaquecimento na fase final do recozimento o que pode levar a uma transformação reversível em Perlita lamelar, a qual irá comprometer as características de estampagem.

A técnica de alta convecção traz vantagens como:

- A maior condutividade térmica do H_2 oferece melhora global na transferência de calor que corresponde a uma redução significativa de variação de temperatura da carga, ou seja, maior homogeneidade de propriedades mecânicas no produto final e aumento de produtividade.
- O poder redutor de gás H_2 faz com que a concentração de impurezas residuais na superfície da tira seja extremamente baixa de forma que a superfície apresenta uma melhor limpeza.

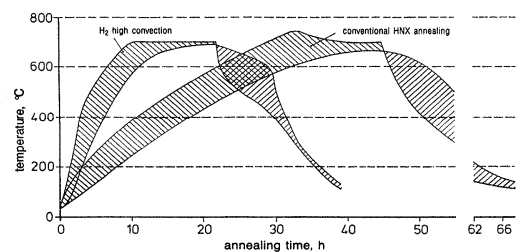


Figura 3 - Curvas de recozimento Processo Convencional X Alta Convecção

3.5. LAMINAÇÃO DE ACABAMENTO - As tolerâncias finais de espessura, acabamento de superfície, planicidade da tira, assim como as características de resistência mecânica do aço são obtidas através da laminação de acabamento.

Nos laminadores de acabamento através de modernas técnicas de medição e controle, é possível a obtenção de características uniformes no material ao longo de toda sua extensão.

A melhoria da planicidade, como na laminação de desbaste é feita através da combinação de retífica dos cilindros e o emprego de recursos de flexão (abaulamento positivos e/ou negativos) nos mesmos.

Nesta etapa é importante que seja mantido um grau de deformação uniforme para toda a tira, de modo a alcançar a resistência desejada no produto final.

Outra característica de extrema importância nesta operação é o acabamento superficial. Os aços aplicados em componentes automotivos devem apresentar uma superfície livre de defeitos superficiais, pois estes aços geralmente devem apresentar uma elevada resistência à fadiga e, mesmo pequenos defeitos superficiais causam uma drástica redução na resistência à fadiga.

3.6. REVESTIMENTO SUPERFICIAL - O sucesso do processo de conformação é função da estampabilidade das chapas, do projeto da peça a ser fabricada, do estampo, das condições da superfície da chapa, da seleção e aplicação de lubrificantes e velocidade de processo e das inter-relações entre estas variáveis. Portanto é fundamental uma boa lubrificação da superfície a ser deformada, o que pode ser facilitado através da aplicação de um tratamento de conversão, visto que estas camadas aumentam a capacidade de retenção dos lubrificantes.

A fosfatização é um revestimento de conversão com a finalidade principal de diminuir o atrito durante o processo de estampagem. Quando aplicado em chapas de aço carbono, age como lubrificante nas operações de conformação, em especial as mais severas, por ser um revestimento poroso apresenta características de retenção de lubrificantes durante a estampagem, de forma a reduzir significativamente o coeficiente de fricção, aumentando assim a vida útil das matrizes e ferramentas.

O revestimento de fosfato permite ainda aumentar as velocidades de deformação, além de servir como excelente base para pintura e para adesão de borrachas. Pode ainda ser usado como isolante elétrico.

As camadas são obtidas por processo químico de imersão, podendo ser otimizadas através de aplicação de sabão (estearato de sódio), formando um eficiente lubrificante para operações severas de conformação.

4. PRODUÇÃO DE AÇOS DE MÉDIO E ALTO TEOR DE CARBONO PARA ESTAMPAGEM PROFUNDA

A produção destes aços além de seguir as etapas já descritas deve apresentar um apurado controle principalmente durante as etapas:

Qualidade		LR (N/mm ²)		Dureza HEE(N/mm ²)			Along (%)	RE
BW	ABNT	BW	ABNT	BW	ABNT	BW	BW	BW
W MC 10	1035	380-430	460 máx	70 máx	75 máx	210-260	38	0,58
W MC 10	1045	410-480	490 máx	75 máx	80 máx	230-280	35	0,58
W AC 10	1060	460-520	540 máx	80 máx	85 máx	240-300	33	0,55
W AC 10	1080	480-540	690 máx	85 máx	95 máx	280-330	32	0,58
W AC 10	1095	550-600	770 máx	90 máx	100 máx	330-350	28	0,56

- ACIARIA: incluiu o processo de redução do teor de enxofre, com o tratamento do aço no PTG (pré-tratamento de gusa), tratamento com Ca-Si para globulização das inclusões de sulfetos e adição de liga de Mn nitrogenada para garantia de um teor mínimo de nitrogênio.

- LAMINAÇÃO A FRIO: correta porcentagem de redução a frio durante etapa de laminação de desbaste e acabamento.

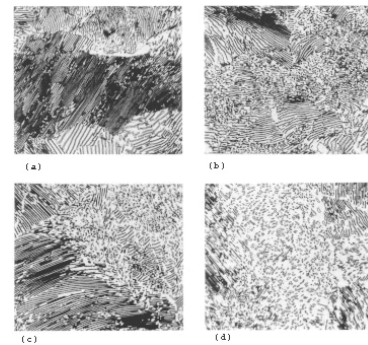
- RECOZIMENTO: Rígido controle de temperatura entre ponto quente e frio da carga. É inadmissível superaquecimento durante o recozimento, o que pode levar a uma transformação reversível da microestrutura em Perlita

lamelar, a qual irá comprometer as características de estampagem.

A figura 4 apresenta a evolução da microestrutura durante um processo de esferoidização de um aço com 0,8 % de carbono.

A microestrutura inicial apresenta-se composta totalmente por perlita, e com a evolução do processo há a fragmentação de suas lamelas, formando unidades menores que tendem a se arredondar, ou seja, há a formação de uma microestrutura esferoidizada.

Fig. 4 Esferoidização da perlita -0,81C-0,08Si-0,65Mn (%peso).



- a) Aço Normalizado a 850°C, 240HV. b) aquecido a 650°C por 4h, resfriado ao ar, 240HV. c) aquecido a 650°C por 16h, resfriado ao ar, 220HV. d) aquecido a 650°C por 64h, resfriado ao ar, 210HV.

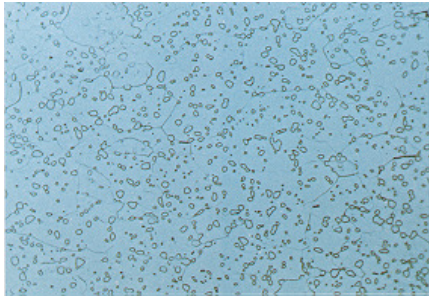
Mesmo em condições de microestrutura esferoidizada, como apresentado na figura 4d, a grande maioria dos aços de médio e alto teor de carbono não pode ser aplicados em exigências de estampagem profunda, pois atendem a somente a baixas solicitações de conformação.

No entanto, através de tratamentos adequados, estes aços são levados a um estado que garante excelentes características de conformação a frio tornando-os aptos a estampagem profunda.

Para estas aplicações o que se objetiva é uma microestrutura 100 % esferoidizada. Somente nesta condição será possível submeter o material a elevadas solicitações de conformação.

Na figura 5 a seguir é representada a condição ideal de microestrutura para que as condições de estampagem profunda sejam satisfeitas.

Fig. 5- Microestrutura de material SAE 1060 apresentando completa esferoidização. Aumento 1000X.



5. UMA NOVA FAMÍLIA DE AÇOS DE MC E AC PARA ESTAMPAGEM PROFUNDA

Utilizando-se de toda a tecnologia necessária descrita a Brasmatal Waelzholz apresenta sua nova família de aços de Médio teor de Carbono (BW-MC) e Alto teor de Carbono (BW-AC) aplicadas em estampagem profunda.

A tabela a seguir apresenta algumas das diversas qualidades de aços que se enquadram nesta nova família, com suas respectivas propriedades mecânicas, e as compara com aços de mesma qualidade conforme norma ABNT.

Nota-se claramente que os materiais de classe BW- MC e BW-AC apresentam melhores propriedades mecânicas quanto à conformação quando comparados com os aços ABNT.

Importante lembrar que estes mesmos materiais também podem ser utilizados com grande sucesso em aplicações onde se exige corte fino, aços denominados “fine-blanking”. (Assunto que será tratado detalhadamente em artigo futuro).

6. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

Apresentamos abaixo exemplos de aplicações que se utilizam destas novas famílias de aços especiais.



AÇOS BW -MC 1035/1045



AÇOS BW-MC 1080

Entre as aplicações em que se utiliza o aço alto-carbono, destaca-se às relacionadas com a fabricação de componentes de rolamento, notadamente anéis internos de rolamentos de embreagem. Estes componentes sofrem um processo de conformação extremamente crítico, uma vez que o processo envolve mecanismos de corte, estampagem e repuxo, sendo que algumas regiões da peça conformada atingem dobramentos de 180° e reduções de secção da ordem de 50%.

A produção destes anéis a partir de conformação só foi possível a partir dos aperfeiçoamentos do processo de produção da chapa relaminada, onde exerceram papéis fundamentais o refino na aciaria e o recozimento para laminação a frio.

Pode-se concluir que estes aços apresentam hoje desempenho comparável aos produtos de melhor qualidade disponíveis no mercado internacional, indicando uma ampla perspectiva de ampliação da participação no mercado nacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- JUNIUS, H.T.- Stahl und Eisen 108-1988 , p. 931-938
- [2]- Metals Handbook, Heating Treating: Annealing of Steel, 8ªed., v.2, USA, ASM Intern., 1994. p. 42-55.
- [3]- SHKOTV, V.V.; CHERNYSHEV, A.P.; LIZUNOV, V.I.; Kinetics of Perlite Spheroidization in Carbon Steel. Author Affiliation :Lipes Polytechnical Institute. Physics of Metals and Metallography (USSR) 70, (4), 1990. p. 116-121.
- [4]- COUTINHO, C.A.B. , NETO, P.P.S. and , GEBER, L.P. Aceleração do Processo de Esferoidização do Aço Perlítico por Deformação à Frio; Metalurgia ABM, vol25, 1979.
- [5]- LANKFORD, W. ET ALI, “New criteria for predicting the press of deep drawing sheets”, - 31º Annual Convention of ASM - 1949 - pp 1197-1232..