

AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NA OCORRÊNCIA DE EMPENO EM TUBOS SEM COSTURA TREFILADOS

Helbert Stéfano Goulart Francisco, helbertgoulart@hotmail.com¹

Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@yahoo.com.br²

Lucas Átila de Amorim, lucasatila@outlook.com¹

Hélio Tiago Gomes de Oliveira, helio.tgo@gmail.com¹

¹Centro Universitário UNA; Av. Afonso Vaz de Melo, 465, Barreiro, CEP:30640-070 Belo Horizonte-MG.

²Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, DETEM, Rodovia MG 433, km 7, Ouro Branco-MG

Resumo: O presente trabalho irá abordar um estudo da influência das variáveis de processo como, trefilação, tratamento térmico e desempenho, na retilineidade dos tubos sem costura trefilados de aço SAE1026. Os processos e produtos vem sofrendo uma constante mudança no setor industrial. As indústrias de diversos setores como, metalúrgico e autopeças estão impondo cada vez mais a necessidade do fornecimento de produtos com alto desempenho tanto no âmbito funcional quanto no geométrico, para este último, quando exigem produtos com tolerâncias dimensionais altamente restritas. A retilineidade é uma característica de suma importância para a funcionalidade dos cilindros hidráulicos, os quais são fabricados a partir de tubos sem costura trefilados. A necessidade de conhecer e ter maior controle sobre esta característica é cada vez maior, uma vez que a tendência de aumentar o portfólio de clientes fornecendo tubos com tolerâncias de retilineidade menores é grande. Na trefilação foram verificadas a influência da redução, velocidade alta e baixa e matéria prima com alta e baixa excentricidade, no tratamento térmico avaliou-se a influência de da normalização a 900°C, recozimento a 670°C e alívio de tensões a 600°C, avaliou-se também tubos que não sofreram tratamento térmico entre passe de trefilação. A partir de estudos estatísticos foi constatado que o tratamento térmico e trefilação com velocidade alta contribuem para o aumento dos valores de empeno e que quanto menores forem os valores de empeno nos tubos antes da trefilação, menor será a variabilidade desses valores após o processo de trefilação. O processo de desempenho se mostrou capaz em reduzir e uniformizar os níveis de empeno para peças que apresentam valores altos e baixos de empeno. O estudo realizado também foi de suma importância para a literatura mecânica, uma vez que foram identificadas e justificadas as motivações mecânicas e metalúrgicas para a influência de cada variação encontrada.

Palavras-chave: Tubos sem costura, aço SAE 1026, retilineidade

1. INTRODUÇÃO

A constante necessidade de otimização dos processos produtivos se faz presente em vários segmentos dentro da indústria. Diversas vezes existe a necessidade de estudar um processo visando aumentar a produtividade, a qualidade do produto fabricado e tornar o processo ergonomicamente correto através do conhecimento das variáveis presentes no processo. A busca por soluções em tubos cada vez mais robustas levam as siderurgias a produzir tubos sem costura com características mais precisas e controladas, que por sua vez geram a necessidade de conhecer a influência de variáveis que podem ter interferências significativas na qualidade final dos tubos sem costura. Durante o processo de trefilação de tubos sem costura, existem variáveis cujo nível de contribuição nos resultados finais não é conhecido, como a retilineidade. Ela é uma característica que afeta a qualidade final através do empeno do tubo, e tem-se o processo de desempenho como uma forma de garanti-la. Contudo, o conhecimento sobre retilineidade disposto atualmente impossibilita a atuação de maneira eficiente no processo. O presente trabalho visa à avaliação do empeno de tubos sem costura trefilados de aço SAE 1026 de seção circular e bitola Ø91,5x8,03mm durante as etapas envolvidas no processo de fabricação: matéria-prima laminada, trefilação, tratamentos térmicos, e no processo de desempenho. Estudar as causas e consequências do empeno, bem como métodos e procedimentos para avaliar a retilineidade dos tubos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Processo de trefilação

O processo de trefilação visa o tracionamento do metal através de uma matriz, por meio de uma força aplicada por um carro tracionador na região da saída da matriz. É comum a matriz apresentar uma geometria com circularidade simétrica, ainda que não seja uma necessidade. Após a consecutiva redução do diâmetro, uma barra de aço pode dar origem em diversas barras, vergalhões e arames, dependendo do diâmetro do material a ser obtido. De outra forma, a trefilação pode ser realizada em tubos, através de técnicas que utilizam ou não um mandril na superfície interna,

alcançando dimensões de diâmetro interno e espessura mais precisas. É comum que a trefilação seja executada em temperatura ambiente, certo que as grandes deformações impostas nos processos aumentam o gradiente de temperatura. A trefilação a frio é utilizada a fim de se obter tolerâncias dimensionais mais acuradas e melhores superfícies de acabamento, para produzir tubos com paredes mais finas ou diâmetros menores dos que podem ser obtidos com métodos de conformação a quente, e produzir tubos de perfis irregulares (DIETER, 1961).

2.2. Tratamento Térmico

O Tratamento térmico pode ser definido como o aquecimento ou resfriamento em temperatura controlada, ele é executado com o objetivo de alterar as propriedades físicas e mecânicas, sem alterar a dimensão final do produto (TSCHIPTSCHIN, 1988).

Segundo Chiaverini (1986), as ligas ferro-carbono, antes de serem utilizadas na forma das peças, são na maioria dos casos submetidas a tratamentos térmicos ou a tratamentos termoquímicos, principalmente quando aplicadas em construção mecânica, alterando as propriedades das ligas e aliviando as tensões juntamente com sua estrutura. No primeiro caso, visa-se modificar as propriedades das ligas, sobretudo as mecânicas, ou aliviar as tensões e restabelecer a estrutura cristalina normal. No segundo caso, procura-se apenas o endurecimento superficial, pela alteração da composição química da camada superficial do material, até uma certa profundidade.

2.2.1. Recozimento

Seus objetivos são os seguintes: remover tensões devidas a tratamentos mecânicos, diminuir a dureza, aumentar a ductilidade e eliminar, finalmente, o efeito de quaisquer tratamentos térmicos ou mecânicos a que o aço tenha sido submetido anteriormente. A estrutura resultante do recozimento é a normal, ou seja, ferrita mais perlita, se o aço for hipoeutetóide, perlita mais cementita, se o aço for hipereutetóide e somente perlita, se for eutetóide. No aquecimento para o recozimento, a temperatura deve situar-se a mais ou menos 50°C acima do limite superior da zona crítica-linha A3- para os aços hipoeutetóides e acima do limite inferior da zona crítica-linha A1- para os aços hipereutetóides. Um tipo de recozimento é o para alívio de tensões, em que o aquecimento é feito a temperatura abaixo da zona crítica. Seu objetivo é apenas aliviar as tensões originadas em processos de conformação mecânica, soldagem, corte por chama, endireitamento, usinagem, enfim, qualquer operação que introduza tensões (CHIAVERINI, 1986).

2.2.2. Normalização

Os objetivos da normalização são similares aos do recozimento, com a diferença de que se procura obter uma granulação mais fina e, portanto, melhores propriedades mecânicas. As condições de aquecimento do material são idênticas às que ocorrem no recozimento, porém o resfriamento é mais rápido: ao ar. A estrutura obtida é a mesma da obtida no recozimento, porém mais uniforme e fina. A normalização é ainda utilizada como tratamento preliminar à têmpera e revenido, justamente porque, sendo a estrutura normalizada mais homogênea que a de um aço laminado, por exemplo, reduz-se a tendência ao empenamento e facilita-se a solução de carbonetos e elementos de liga, principalmente quando o aço é ligado (CHIAVERINI, 1986).

2.3. Empenamento

A deformação de um material pode ser qualificada de duas maneiras, deformação de tamanho ou forma. A de tamanho é motivada pela expansão e contração térmica da microestrutura quando submetido o aquecimento ou resfriamento do material, no caso dos aços isto se deve à uma alteração na estrutura cristalina do material, acompanhando transformação das fases durante tratamento térmico. Distorções de forma são causadas por transformações térmicas e tensões não uniformes durante a variação de temperatura ao longo de partes do componente. Regiões localizadas que expandem ou contraem durante o rápido resfriamento ou aquecimento em relação a regiões adjacentes desenvolvem tensões que podem ser bastante altas, especialmente a altas temperaturas onde a microestrutura tem uma alta ductilidade, que por sua vez irão ocasionar uma deformação plástica mudando a forma do componente. Por outro lado, se estas tensões geradas durante o aquecimento ou resfriamento não causarem uma distorção no componente, tensões residuais serão incorporadas ao componente (ZOCH, 2006). A Fig. (1) mostra um organograma de efeitos que geram as distorções/empenamentos.

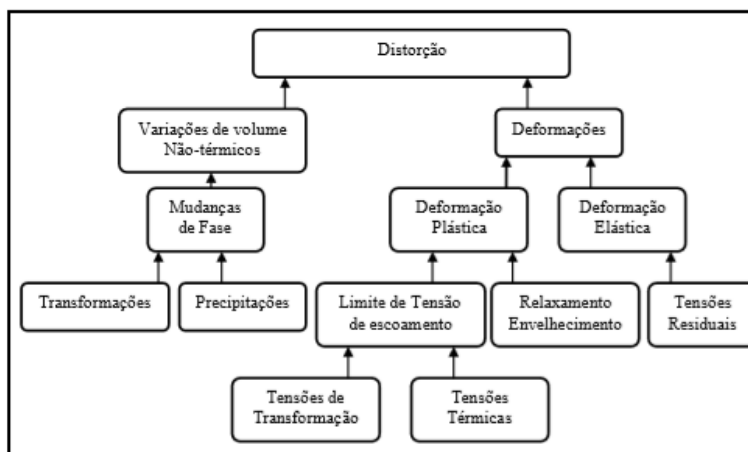


Figura 1. Efeitos que geram distorções/empenamento.

Segundo Freese (2007), o empenamento é um tipo específico de distorção caracterizado por diferentes níveis de tensões residuais e deformações. Sobre a influência de tensões não uniformes, o tubo pode assumir uma forma empenada. O tipo de empenamento encontrado nos tubos pode ser variado, sendo, de maneira geral, classificado como mostrado na Fig. (2).

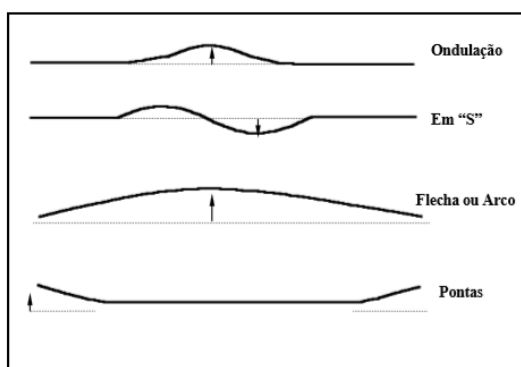


Figura 2. Tipos de empenamento.

A medida do empenamento é dada em mm/m, ou seja, é a distância da região empenada dividida pelo comprimento empenado, conforme a Fig. (3).

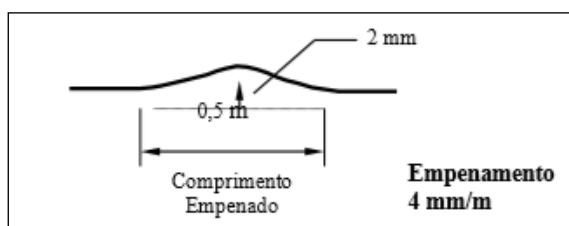


Figura 3. Medição do empenamento.

3. METODOLOGIA

Através do método de diagrama de Ishikawa, foram levantadas as causas prováveis na ocorrência do empeno no produto final, Fig. (4).

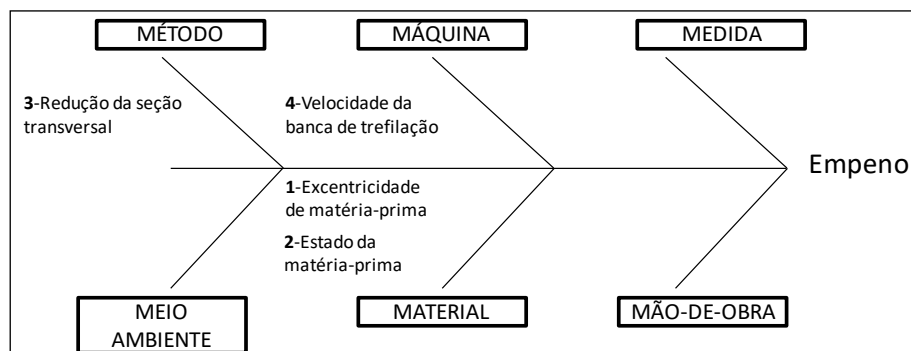


Figura 4. Diagrama Ishikawa das prováveis causas do empeno.

Com isso, decidiu-se avaliar a influência destas variáveis:

- Excentricidade da matéria-prima (baixa ou alta)
- Influência do tratamento térmico (normalizado / recozido / encruado)
- Redução da seção transversal (grande e pequena)
- Velocidade da banca de trefilação (baixa ou alta)

Para melhor entendimento, a Tabela 1 demonstra os parâmetros de trefilação que terão alteração durante o processo para cada variável a ser analisada:

Tabela 1. Alteração dos parâmetros de processo em função das variáveis.

Variável	Parâmetros de trefilação				
	Velocidade (m/min)	Tratamento	Redução (%)	Família	Quantidade (pcs)
Matéria prima	10	Normalização	15	A	10
Redução					
Velocidade					
Excentricidade Alta	10	Normalização	15	B	10
Excentricidade Baixa	10	Normalização	15	C	10
Matéria prima	10	Recozimento	15	D	10
Matéria prima	10	Sem tratamento	15	E	10
Redução	10	Normalização	30	F	10
Velocidade	30	Normalização	15	G	10
Total					70

Como pode ser observado, para avaliação da influência de cada variável foi necessário à criação de lotes de 10 peças (famílias). Cada família terá a alteração de uma variável (em destaque), os demais fatores estudados neste trabalho serão fixados. A família 'A' será utilizada como padrão, uma vez que será considerada como a situação ideal se tratando de variáveis.

3.1. Excentricidade Baixa e Alta

Para a separação e classificação de peças consideradas com e sem excentricidade, foi adotado o seguinte método: do grupo disponível de tubos, todos eles terão os valores de excentricidade mensurados via equipamento de ultrassom. Desta massa de dados, serão selecionados os dez tubos com maiores valores de excentricidade e dez tubos com menores valores de excentricidade. A Figura (5) ilustra o processo de seleção dos tubos.

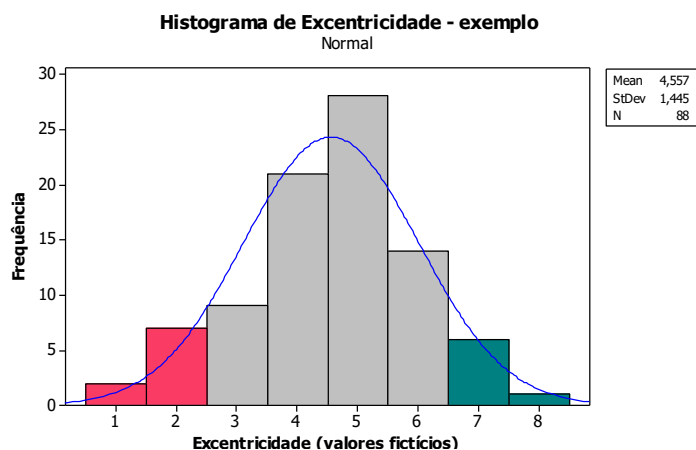


Figura 5. Exemplo de distribuição de valores de excentricidade e escolha dos tubos que representam baixa e alta excentricidade.

3.2. Tratamento térmico

Foram selecionadas vinte peças de mesma bitola e aço. Dez peças foram recozidas e dez que não foram tratadas termicamente. Os tratamentos realizados foram de 60 minutos.

3.3. Redução

Devido a perdas no processo foram alteradas as quantidades de dez para seis peças de bitola Ø 102 x 10,40 mm, cuja lupa foi de Ø 114,4 x 11,50 mm. Essas peças foram trefiladas de forma que o produto final tivesse uma redução alta (30%). A escolha dessa redução se deu devido ela ser um valor limite de redução para a capacidade da banca de trefilação.

3.4. Velocidade

Foram selecionadas dez peças de mesma bitola e aço que serão trefiladas com velocidade de 30 m/min.

A influência da posição relativa dos tubos dentro do forno durante o tratamento térmico, bem como sua organização, número de camadas e carga térmica será desconsiderada. Entende-se que, primeiramente, os resultados comparativos da influência do tipo de tratamento térmico (normalização, recozimento, etc) serão mais claros e elucidativos. A anisotropia do material também será inicialmente desconsiderada.

3.5. Medição

Foram realizadas medições de empeno entre cada uma das etapas de processo, ou seja, quatro etapas de medições ao todo:

- 1- Antes da trefilação (inicial)
- 2- Após trefilação e antes do tratamento (trefilado)
- 3- Após tratamento térmico e antes do despeno (tratado)
- 4- Após passagem na desempenadeira (final)

Para todas as experiências, após a seleção das matérias-primas o processamento e as medições foram realizados conforme o esquema da Fig. (6), que resume o processo de maneira mais ilustrativa:

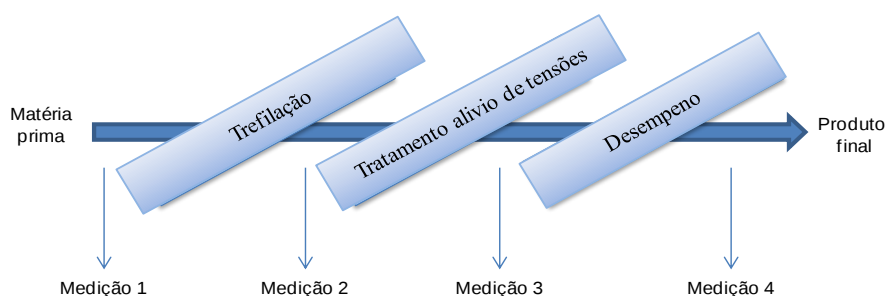


Figura 6. Roteiro de produção e etapas de medição de retilineidade dos tubos.

Será considerada matéria prima os tubos processados após 1º passe de trefilação, como forma de deixar todos os tubos na mesma condição. Devido ao empenamento após cada etapa apresentar um aspecto diferente, as metodologias de medição também se tornam diferentes. Existem medições feitas com a escala milimétrica com comprimento de 1 metro, as quais são feitas para empenamento localizado (pequenos intervalos), e as medições feitas com linha, executadas para empenamentos alongados (grandes intervalos). As diferenças encontradas são medidas com canivete de folga ou paquímetro. A seguir são demonstrados os processamentos e o tipo de empenamento encontrado em cada processo.



Figura 7. Processos e tipo de empenamentos encontrados.

Devido às medições de empeno alongado serem feitas com linha e cobrirem todo o comprimento do tubo, os resultados encontrados devem ser divididos pelo comprimento do mesmo, conforme ilustrado na Fig. (7).

4. RESULTADOS

Os valores da evolução do empeno das peças durante os processos podem ser visualizados no **Anexo A**. Para a melhor visualização do comportamento da retilineidade durante o processo foram criados boxplots. A Família 'D' no estágio 2 foi submetida ao tratamento térmico de recozimento. Para as demais famílias o tratamento a ser considerado é o de normalização. Os boxplots dos valores obtidos podem ser visualizados a seguir.

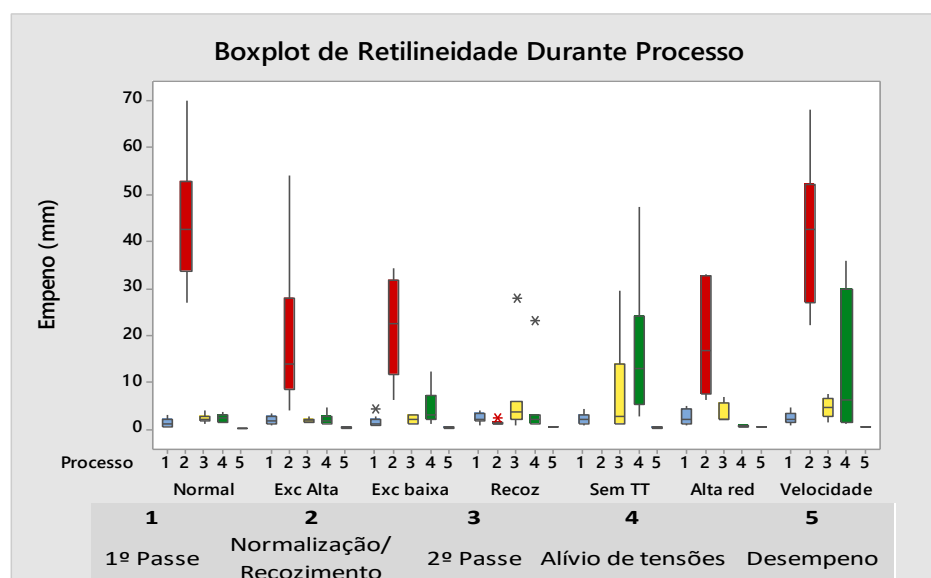


Figura 8. Variação da retilineidade durante o processo.

Para efeito comparativo verificou-se a diferença entre as variâncias presentes na amostragem de dados após 1º passe de trefilação e após 2º passe de trefilação, Fig. (9).

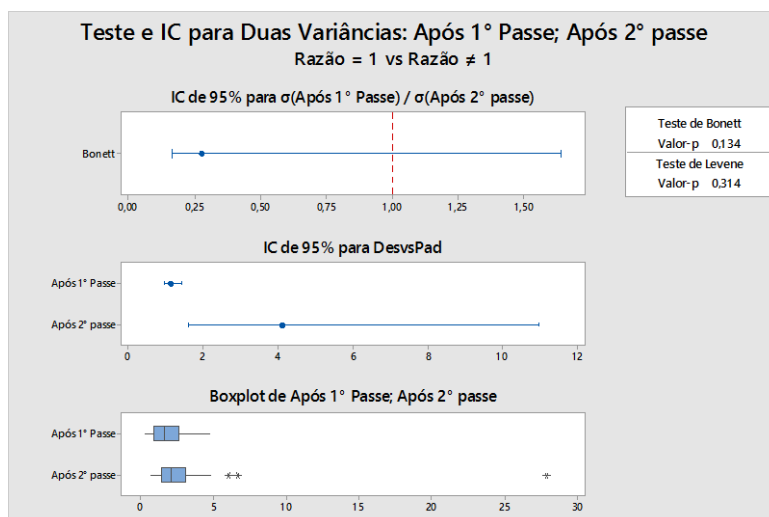


Figura 9. Variância da retlineidade após o 1º passe e após o 2º passe.

Através da Figura (10) foram comparados os valores de retlineidade das peças após 2º passe das famílias “A,B,C,D”, as quais foram trefiladas com velocidade 10m/min retirando as peças utilizadas em setup com os resultados das peças da família “G”, a qual foi trefilada com velocidade de 30m/min.

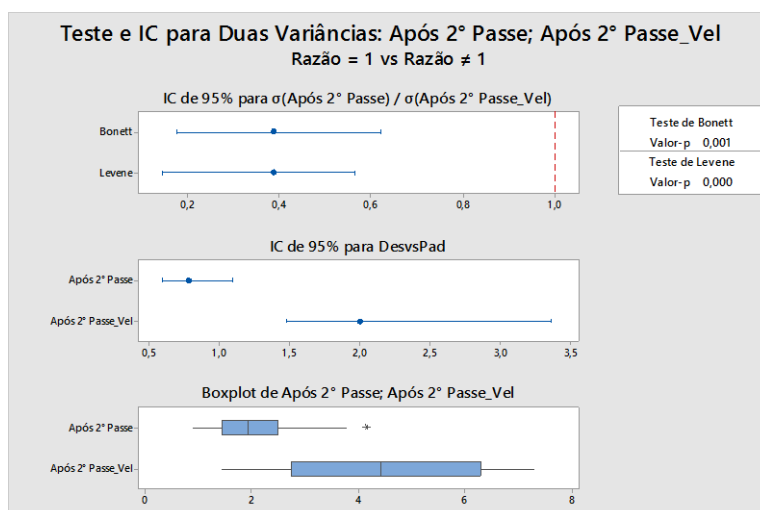


Figura 10. Variância da retlineidade após 2º passe com velocidade de 10m/min e 30m/min.

Foi realizado um estudo de capacidade após a operação de desempenho para verificar a contribuição da desempenadeira na retlineidade do material. Fez-se um estudo considerando um valor de retlineidade especificado igual a 0,5mm/m. A Figura (11) demonstra os resultados.

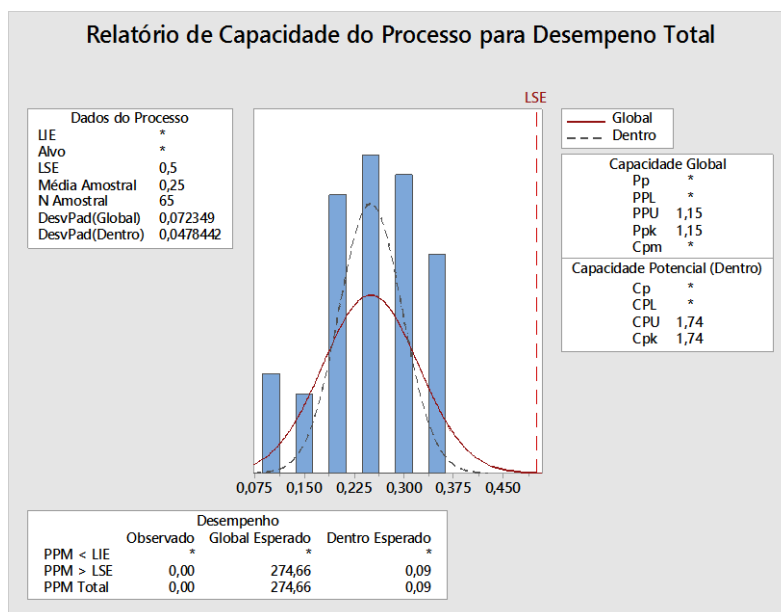


Figura 11. Estudo de capacidade após desempenho- especificação 0,5 mm/m.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A retilineidade após o 1º passe de trefilação (1) teve comportamento similar para todas as famílias. O máximo valor de empeno encontrado foi de 4,75mm. Observa-se de forma destacada que o tratamento de normalização (2) realizado após o primeiro passe de trefilação eleva de forma significativa os níveis de empeno, quando comparado com os demais valores obtidos. Segundo Chiaverini (1986), referido comportamento é devido principalmente às tensões internas que se originam no processo. As zonas superficiais das peças resfriam e contraem mais rápido que seu núcleo, esse fica com dimensões mais reduzidas para conter um material mais quente e de volume maior. Enquanto o metal está com plasticidade suficiente e haja tempo suficiente, as tensões devidas às variações de forma e dimensões das peças ficam equilibradas. Porém, no momento em que a região superficial do material tornar-se rígida pelo resfriamento, ela irá se opor a ulterior contração do núcleo e surgirão tensões internas apreciáveis.

Posterior ao 2º passe de trefilação (3) verifica-se uma redução nos níveis de empeno a partir da banca de trefilação. Este comportamento se deve à deformação imposta no tubo durante trefilação, a qual impõe tensões mais uniformes do que a condição após tratamento térmico, fazendo com que o tubo se apresente mais retilíneo após trefilação. Após o tratamento térmico recozimento (família 'D') e alívio de tensões (4) é verificado de forma geral um aumento nos valores de empeno, fato também ocasionado pelo fator térmico citado na normalização, porém com níveis mais baixos, uma vez que a temperatura máxima de aquecimento utilizada foi de 670 °C.

Não foram observadas variações significativas durante o processo quando comparados os valores de retilineidade das amostras com excentricidade alta e baixa.

As peças sem tratamento térmico intermediário (família 'E'), nas operações posteriores ao 1º passe, como o 2º passe e tratamento térmico para alívio de tensões, apresentaram elevados valores de empeno. Estas mesmas peças tiveram que ser submetidas a dois passes de desempenho. Os fatos expostos são em decorrência do nível de tensões atuantes no material, gerados no 1º e 2º passe. No caso do processo de desempenho, que visa criar um nível de tensões homogêneo, um passe de desempenho não foi suficiente para estabelecer esta condição, necessitando de dois passes. Observa-se que em algumas peças houve uma melhora na retilineidade após tratamento térmico para alívio de tensões, o que aconteceu em todas as cinco peças da família 'F'. Acredita-se que estes resultados estejam relacionados com a posição dos tubos dentro do forno e com a carga térmica, condições que não foram avaliadas neste estudo.

Os materiais após o 1º passe de trefilação apresentaram menor variabilidade nos valores do que os materiais após 2º passe de trefilação. Tal evento pode estar relacionado com o nível de retilineidade dos tubos antes de serem trefilados. Os tubos na que antecedem o 1º passe, estão mais retilíneos, enquanto que os tubos após tratamento térmico os quais antecedem o 2º passe possuem valores de empeno mais altos.

As peças trefiladas com velocidade alta (30m/min) apresentaram maiores valores de empeno e maior variabilidade do que as peças as quais foram trefiladas com velocidade (10m/min).

Foi observado que o alinhamento da matriz com a linha de trefilação (considerando velocidade baixa 10 m/min) é a principal variável que é alterada durante setup para que os tubos após trefilação estejam com ideais níveis de retilineidade, gerando peças com alto valor de empeno até que se estabeleça a condição de alinhamento adequada. Referido fato torna necessário um estudo que visa identificar a melhor condição de alinhamento da matriz e possivelmente a padronização da regulação deste alinhamento.

6. CONCLUSÕES

Foram alcançados com sucesso os resultados da influência de cada processamento na retilineidade do material.

Os processos como tratamento térmico, e trefilação com velocidade alta contribuem para o aumento dos valores de empeno para os tubos de bitola Ø 91,5 x 8,03 mm.

Não foi percebida diferença significativa nos resultados de retilineidade das amostras com excentricidade alta e baixa.

Quanto menores forem os valores de empeno nos tubos antes da trefilação, menor será a variabilidade desses valores após o processo de trefilação.

O processo de desempenho se mostrou capaz em reduzir e uniformizar os níveis de empeno para peças que apresentam valores altos e baixos de empeno.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se em posteriores estudos avaliar a influência da carga térmica, posição dos tubos dentro do forno e número de camadas durante tratamento térmico, visando alcançar resultados mais detalhados. É recomendado também a realização de experimentos utilizando matrizes de trefilação com ângulos de redução significativamente diferentes visando verificar a influência dos mesmos no empenamento.

8. REFERÊNCIAS

Chiaverini, V, 1914 - Tecnologia mecânica - 2. Ed.- São Paulo, McGraw-Hill,1986.

Dieter, G.E.. Mechanical Metallurgy. 1ª Ed. McGraw-Hill Book Company, 1961.

Freese, S., Otimização dos Parâmetros de Endireitamento de uma Endireitadeira Duplo-Rolos, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, p. 15-17, 2007.

Tschiptschin, A, P. Tratamento Térmico de Aços - EPUSP – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 1988.

Zoch, H. From Single Production Step to Entire Process Chain – the Global Approach of Distortion Engineering. Wiley Interscience, p.6-10, 2006.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores Helbert Stéfano Goulart Francisco, Diego Raimundi Corradi, Lucas Átila de Amorim e Hélio Tiago Gomes de Oliveira são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo

EVALUATION OF THE PROCESS VARIABLES IN THE WARP OCCURRENCE IN SEAMLESS DRAWN PIPES

Helbert Stéfano Goulart Francisco, helbertgoulart@hotmail.com¹

Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@yahoo.com.br²

Lucas Átila de Amorim, lucasatila@outlook.com¹

Hélio Tiago Gomes de Oliveira, helio.tgo@gmail.com¹

¹Centro Universitário UNA; Av. Afonso Vaz de Melo, 465, Barreiro, CEP:30640-070 Belo Horizonte-MG.

²Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, DETEM, Rodovia MG 433, km 7, Ouro Branco-MG

Abstract: This paper presents a study of the influence of the process variables such as drawing, heat treatment and performance on the straightness of seamless drawn steel pipes SAE1026. The processes and products have been undergoing a constant change in the industrial sector. Companies in various sectors, such as metallurgical and auto parts, are increasingly imposing the need to provide high performance products both in functional and geometric terms, for the latter, when they demand products with highly restricted dimensional tolerances. The straightness is a feature of paramount importance for the function of the hydraulic cylinders, which are manufactured from seamless drawn pipes. The need to know and have greater control over this feature is increasing, since the tendency to increase the portfolio of clients supplying pipes with smaller rectilinear tolerances is high. In the drawing, the influence of the reduction, high and low speed and raw material with high and low eccentricity were verified, in the heat treatment the influence of normalizing was evaluated at 900°C, annealing at 670°C and stress relief annealing at 600°C. In addition, were evaluated pipes have not undergone heat treatment between the drawing pass. From statistical studies was found that the heat treatment and high-speed drawing contribute to the increase of the warp values and that the smaller the warp values in the pipes before the drawing, the lower the variability of these values after the drawing process. The performance process has shown to be able to reduce and standardize the settling levels for parts with high and low warp values. The study was also of great importance for the mechanical literature, since were identified and justified the mechanical and metallurgical reasons for the influence of each variation found.

Key-words: seamless pipes, steel SAE 1026, straightness

1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors Helbert Stéfano Goulart Francisco, Diego Raimundi Corradi, Lucas Átila de Amorim e Hélio Tiago Gomes de Oliveira are the only responsible for the printed material included in this paper.