



38th SENAFOR

22nd International Forging Conference - Brazil

8th International Sheet Metal Forming Conference/5th BrDDRG Congress

7th International Powder Metallurgy Conference Brazil

8th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energy

OBTENÇÃO DA CURVA DE ESCOAMENTO A QUENTE DE UM AÇO 22MnB5 ATRAVÉS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DE DISCOS EMPILHADOS

André Rosiak ⁽¹⁾

Luana De Lucca De Costa ⁽²⁾

Alberto M. G. Brito ⁽³⁾

Hugo T. Kemmerich ⁽⁴⁾

Lirio Schaeffer ⁽⁵⁾

RESUMO

A curva de escoamento de um material é imprescindível para a determinação das condições de trabalho em processos de conformação mecânica. Ela pode ser determinada a partir de diversos ensaios mecânicos em diferentes condições de processamento que dependem das características de aplicação do material analisado. Neste trabalho, foram obtidas as curvas de escoamento para o aço 22MnB5 para as temperaturas de 650, 750 e 850°C a partir da compressão de 16 discos empilhados de 1,3mm de altura cada. As curvas obtidas são análogas as apresentadas pela literatura por outros métodos de ensaio.

Palavras-chave: Ensaio mecânico; Compressão de discos empilhados; Curvas de escoamento; 22MnB5.

ABSTRACT

The flow curve of a material is indispensable for determining the working conditions in metal forming processes. It can be determined from several mechanical tests under different processing conditions depending on the application of the material. In this work, the flow curves for the 22MnB5 steel were obtained for the temperatures of 650, 750 and 850 ° C from the compression of 16 stacked discs 1.3mm height each one. The curves obtained are analogous to those reported in the literature by other test methods.

Keywords - Mechanical tests; Method of compression of stacked discs; Flow curves; 22MnB5.

⁽¹⁾Engenheiro Metalúrgico. Mestrando em Processos de Fabricação pelo PPGE3M (UFRGS). LdTM.

⁽²⁾Engenheira Mecânica. Doutoranda em Processos de Fabricação pelo PPGE3M (UFRGS). LdTM.

⁽³⁾Engenheiro Metalúrgico. Doutor em Processos de Fabricação pelo PPGE3M (UFRGS). LdTM.

⁽⁴⁾Graduando em Engenharia Metalúrgica. IC no Laboratório de Transformação Mecânica (UFRGS).

⁽⁵⁾Engenheiro Mecânico. Professor Titular da UFRGS. Diretor do LdTM.

1. INTRODUÇÃO

A concepção e preparação de um processo de conformação mecânica é necessário conhecer um conjunto de variáveis que qualificam e caracterizam o comportamento mecânico dos

materiais e seu desempenho em condições específicas (RODRIGUES, 2005). É neste contexto que surgem os ensaios mecânicos, objetivando verificar as propriedades mecânicas dos materiais, auxiliando na concepção e preparação dos processos de fabricação através de técnicas de ensaio padronizadas. Além disso, hoje, os resultados obtidos nestes ensaios são inseridos em programas de simulação que os utilizam para seus cálculos iterativos.

Se uma carga estática ou se ela se altera de maneira relativamente lenta com o tempo e é aplicada uniformemente sobre uma seção reta ou superfície de um componente, o comportamento mecânico pode ser verificado mediante ensaios de tensão-deformação, sendo os testes de tração, de compressão e de torção os mais utilizados (RODRIGUES, 2010; SCHAEFFER, 2006)

O ensaio de compressão de discos empilhados baseia-se na compressão de um conjunto de placas ou discos empilhados, arranjados de maneira que apresentem um alinhamento correto, gerando uma forma cilíndrica. É utilizado em substituição aos de tração e compressão quando não há a disponibilidade de material suficiente para esses ensaios (MERKLEIN, 2009).

A preparação experimental deve garantir aderência ao longo das interfaces de contato entre discos adjacentes para manter condições de escoamento homogêneas. Deslizamentos entre discos adjacentes induzem escoamento não homogêneo o que desencadeia gradientes de tensão em direção a borda das chapas analisadas (BOFF, 2011).

Os estudos de Rodrigues (2010) mostraram que mesmo que as condições de atrito ao longo da interface de contato entre as chapas adjacentes empilhadas venham a influenciar no perfil do corpo de prova deformado, a falta de homogeneidade do escoamento do material não influencia seu comportamento e, portanto, a sua curva escoamento. Assim, a curva de escoamento é praticamente idêntica, quando obtida por meio do teste de compressão convencional ou por chapas empilhadas. Ademais o ensaio através da pilha de discos apresenta a vantagem de desenvolver uma influência menor do atrito com as matrizes compressivas, em comparação ao corpo de prova cilíndrico utilizado no ensaio convencional (MARTÍNEZ, 2017).

Dentro deste contexto, este estudo objetiva o levantamento de curvas de escoamento do aço 22MnB5 a partir do ensaio de compressão de 16 discos empilhados dentro de uma ferramenta projetada para diminuir a perda de calor, denominada “copo quente”. As curvas experimentais são comparadas com as obtidas a partir de outros métodos de ensaio apresentados na literatura.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando a melhor forma de descrever as etapas deste trabalho, este e os próximos capítulos são divididos em:

- (i) definição das condições de ensaio;
- (ii) projeto e desenvolvimento das matrizes e corpos de prova para o ensaio;
- (iii) realização dos ensaios de compressão.

1.1 Definição das condições de ensaio

A seleção do aço AISI 1045 como material a ser analisado neste trabalho deve-se a disponibilidade deste na forma de barras possibilitando a comparação do método de empilhamento de chapas com o usualmente utilizado (ensaio de compressão a quente).

O material das matrizes de forjamento foi selecionado com base nas características metalúrgicas do material e do processo de forjamento a quente, sendo um aço ferramenta para trabalho a quente AISI H13 na condição revenida.

A taxa ou velocidade de deformação média utilizada nos ensaios foi de aproximadamente $1s^{-1}$. Optou-se por utilizar a taxa de deformação média desenvolvida no processo devido ao fato da prensa utilizada nos ensaios se tratar de uma prensa hidráulica. Esta apresenta velocidade de prensagem constante o que tornou impossível manter a taxa de deformação constante durante os ensaios.

A prensa utilizada para os ensaios é uma Prensa hidráulica de simples efeito marca EKA modelo PKL40, com capacidade de 400 kN e velocidade de prensagem igual a 15 mm/s e é apresentada na Figura 1. Os dados de força durante o experimento foram medidos com a utilização de uma célula de carga com capacidade para 400 kN.

Já os dados de deslocamento da mesa superior foram obtidos utilizando um sensor de deslocamento do tipo LVDT. Os dados foram registrados em um sistema de aquisição de dados

marca HBM, modelo Spider 8, ligado a um computador com o software Catman 4.0. O Catman 4.0 permite controlar a gravação e o pós processamento dos dados adquiridos. O posicionamento dos equipamentos é mostrado na Figura 1.

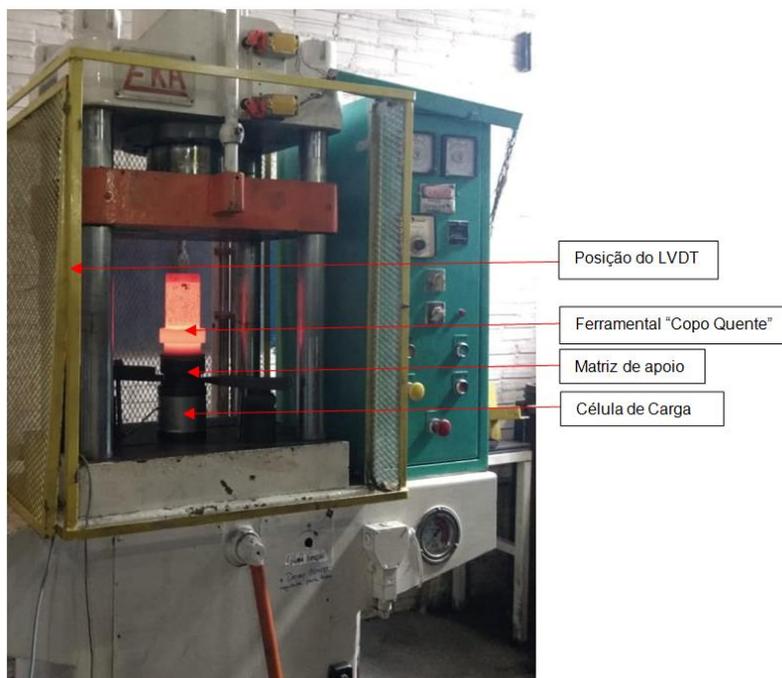


Figura 1: Prensa Hidráulica marca EKA modelo PKL40 durante a realização dos ensaios.

Os ensaios foram realizados nas temperaturas de 650, 750 e 850°C. Estas temperaturas estão dentro da faixa utilizada no processo de estampagem a quente do aço 22MnB5. O tempo de aquecimento, isto é, o intervalo de tempo necessário para a completa homogeneização da temperatura de ensaio na estrutura formada pelas ferramentas e corpos de prova foi de 1h e foi definido através da utilização de um termopar tipo K de 1,5mm de diâmetro posicionado na parte interna da ferramenta.

1.2 Projeto e desenvolvimento das matrizes e corpos de prova para o ensaio

O ensaio de compressão de discos empilhados é um ensaio pouco difundido e não normalizado. Desta forma, as dimensões da amostra cilíndrica resultante do empilhamento das chapas foram definidas de forma a garantir condições de escoamento homogêneas durante o ensaio. Para tanto, 2 conceitos importantes encontrados na literatura foram levados em consideração:

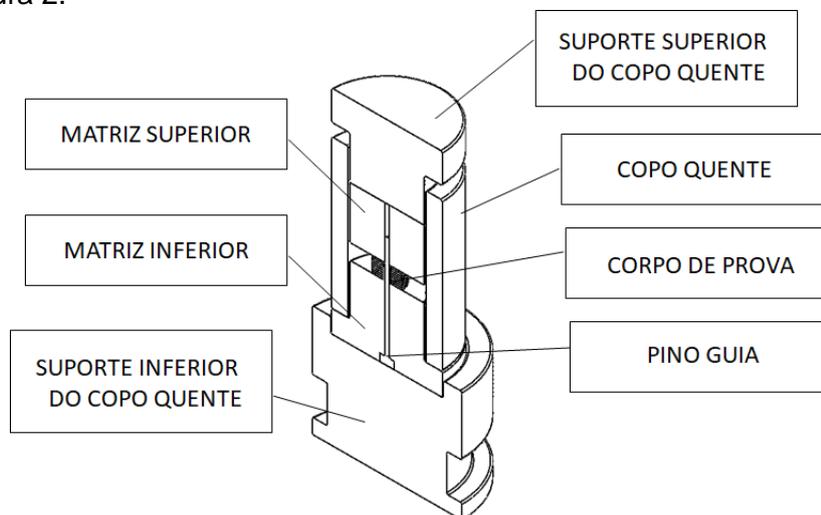
- 1) O corpo de prova não deve exceder uma razão de altura e diâmetro iniciais de 1,5 para que dessa forma seja mantida a estabilidade da pilha de discos durante o ensaio;
- 2) Esta razão não deve muito pequena, uma vez que assim a sensibilidade ao atrito com as matrizes de compressão seria significativamente aumentada, podendo dar origem a um acúmulo significativo de tensão que pode causar a quebra do lubrificante e assim o escoamento não homogêneo do material.

Buscando um balanço ótimo entre a altura e o diâmetro do corpo de prova final a ser comprimido e acompanhando os valores utilizados na literatura, definiu-se a relação h_0/d_0 igual a 1. Os corpos de prova de 22MnB5 foram obtidos a partir de uma chapa metálica de 45x45mm e espessura de 1,3mm. Dessa forma, para alcançar uma relação ótima entre as relações iniciais de altura e diâmetro, foram empilhados 16 discos. Visto que tanto a tolerância dimensional, quanto o acabamento superficial dos discos que compõem os corpos de prova são de extrema importância, todos os discos foram usinados. O diâmetro externo de todos os corpos de prova é de 20mm, enquanto o interno é 5mm.

A temperatura durante o ensaio é mantida aproximadamente constante através da utilização da ferramenta denominada "copo quente". O "copo quente", nada mais é do que uma estrutura cilíndrica, produzida no aço ferramenta para trabalho a quente AISI H13. Assim, durante o

aquecimento o corpo de prova é posicionado no interior do “copo quente” juntamente com as matrizes de compressão, superior e inferior, que fecham as aberturas do cilindro, reduzindo a perda de calor para o exterior após a retirada da estrutura do forno de aquecimento.

Diante disso, foi necessário desenvolver um projeto de matrizes planas capazes de serem posicionadas no interior desta estrutura. Levando em consideração o deslocamento da prensa durante os ensaios e as dimensões do “copo quente”, projetou-se o ferramental que pode ser observado na Figura 2.



8

Figura 2: Representação esquemática do ferramental utilizado na execução dos ensaios de compressão.

Nos ensaios, o alinhamento central das chapas empilhadas foi garantido pela aplicação de um pino central instalado na matriz inferior. Como discutido anteriormente, a utilização deste pino é insignificante aos resultados e possibilita a vantagem de se obter uma compressão mais homogênea de toda a amostra.

2.3 Realização dos ensaios de compressão

Os ensaios experimentais são ilustrados na Figura 3 e ocorreram da seguinte forma: (1) montagem do ferramental (ferramental+corpo de prova); (2) aquecimento do conjunto; (3) ensaio de compressão; (4) remoção do corpo de prova do ferramental e resfriamento ao ar.

A compressão ocorreu até a redução de 50% (10mm) em altura dos corpos de prova para todas as geometrias estudadas. A lubrificação foi realizada apenas entre as matrizes e a superfície dos corpos de prova externos, sendo que, não houve lubrificação entre os discos. O lubrificante utilizado foi uma suspensão de grafite, Lubrodal AT 737 F, marca Fuchs.

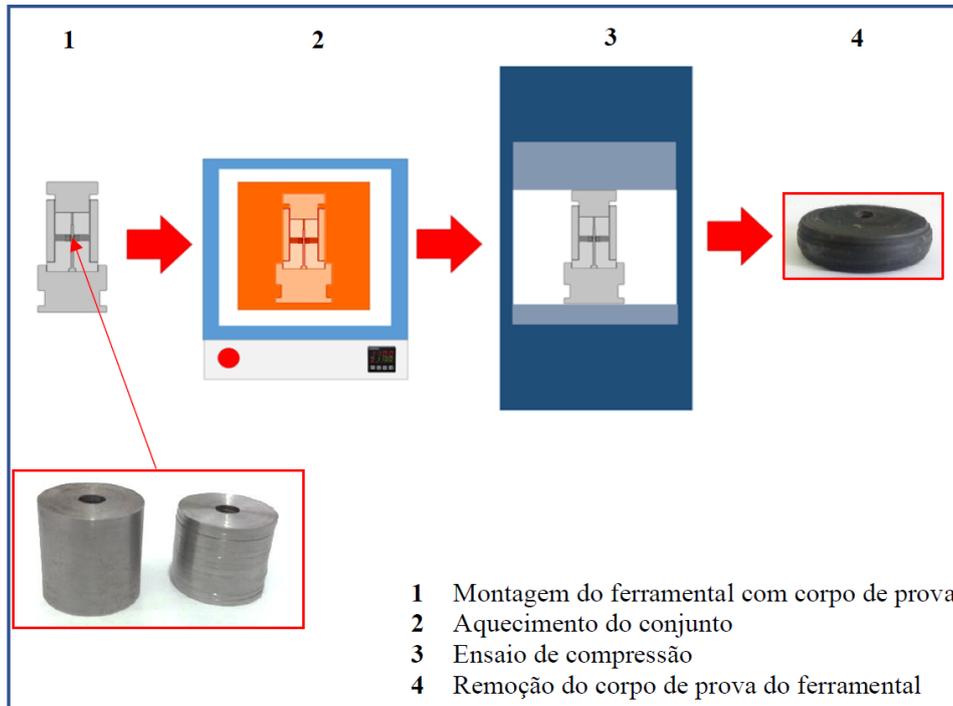


Figura 3: Desenho esquemático da sequência de operações desenvolvidas durante os ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando o objetivo principal deste estudo, foram realizados os ensaios para a obtenção das curvas de escoamento do aço 22MnB5 em diferentes temperaturas. As curvas de escoamento verdadeiras do material obtidas pelo ensaio de compressão de chapas finas a 650, 750 e 850°C podem ser observadas na Figura 4.7. Analisando os resultados das três temperaturas é possível notar que o comportamento das curvas é coerente, assim, as tensões necessárias para alcançar um mesmo grau de deformação decrescem com o aumento da temperatura de ensaio.

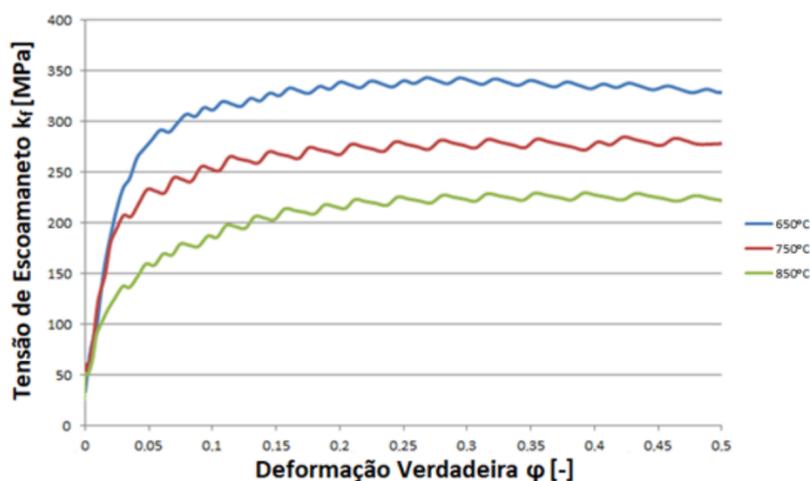


Figura 4. Curvas de escoamento do aço 22MnB5 a 650, 750 e 850°C e velocidade de deformação média $\dot{\phi} = 1s^{-1}$

Para validação dos resultados alcançados através do ensaio de compressão de chapas empilhadas, as curvas obtidas por este método, foram comparadas com curvas presentes na literatura. As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam estes resultados, onde as curvas azuis correspondem as curvas obtidas neste trabalho, enquanto as de cor preta correspondem a resultados de ensaios de tração obtidos por ROHITHUPPALURI (2016) e as curvas vermelhas, presentes nas temperaturas de

650 e 850°C, foram modeladas matematicamente por HOCHHOLDINGER (2009) a partir das fórmulas matemáticas por ele desenvolvidas.

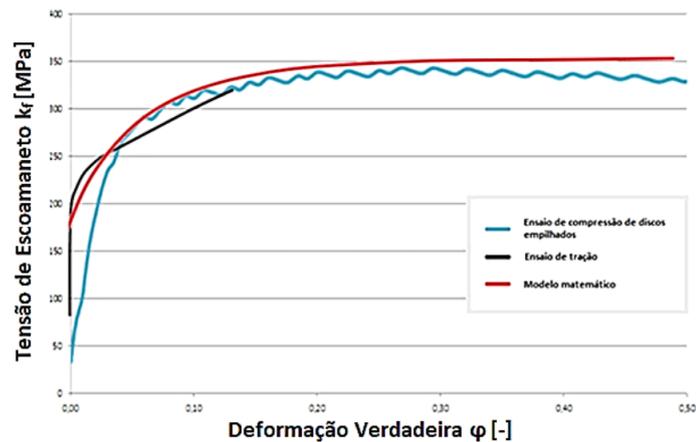


Figura 5: Curvas de escoamento do aço 22MnB5 a 650°C e velocidade de deformação média $\dot{\phi} = 1 s^{-1}$.

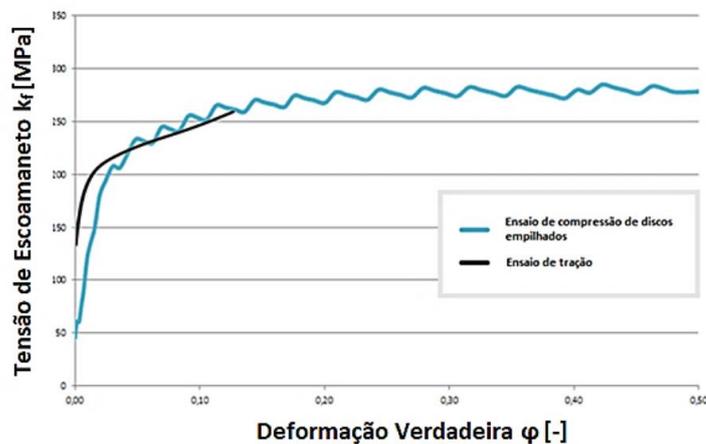


Figura 6: Curvas de escoamento do aço 22MnB5 a 750°C e velocidade de deformação média $\dot{\phi} = 1 s^{-1}$.

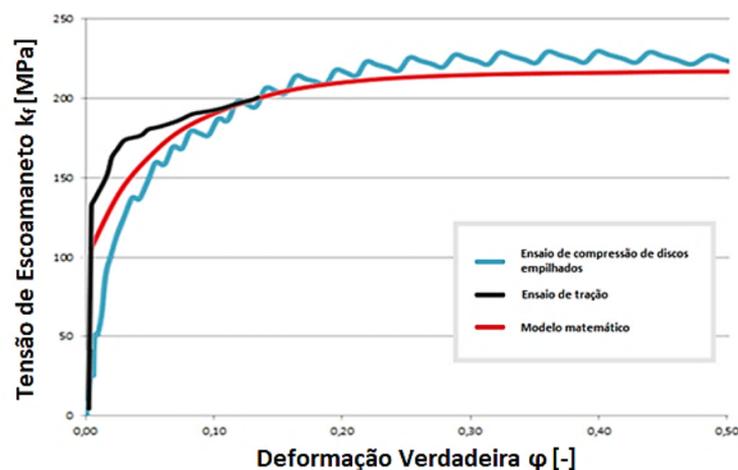


Figura 7: Curvas de escoamento do aço 22MnB5 a 850°C e velocidade de deformação média $\dot{\phi} = 1 s^{-1}$.

Quando comparadas às curvas obtidas através do ensaio de tração por ROHITHUPPALURI (2016), as curvas realizadas neste trabalho apresentam uma pequena diferença de comportamento para pequenas deformações. Isso se deve, principalmente, a acomodação das chapas no estágio inicial do ensaio de compressão. Todavia, para maiores deformações as curvas convergem, ocorrendo a intersecção entre elas aproximadamente a um valor de deformação igual a 0,05 para as temperaturas de 650 e 750°C e 0,10 para 850°C. A partir destes pontos, os comportamentos das curvas são idênticos aos resultados obtidos em tração para as temperaturas de

750 e 850°C, enquanto para 650°C as curvas voltam a apresentar alguma discrepância até a deformação de 0,12. Mesmo diante de pequenas discordâncias para baixas deformações, com o avançar da deformação, as curvas obtidas através do teste de compressão de chapas empilhadas apresentam resultados idênticos aqueles do teste de tração, validando este método de determinação de curva de escoamento. Uma vez que os ensaios de tração apresentam a limitação de avaliar a resposta do material apenas a deformações muito pequenas, e diante dos resultados acima referidos, o ensaio de compressão de chapas empilhadas surge como uma alternativa podendo ser aplicado para a avaliação do comportamento do material para maiores deformações, o que é impossível através do teste de tração. Além disso, a sobreposição das curvas experimentais às curvas obtidas a partir do modelo matemático por HOCHHOLDINGER (2009), corrobora esta proposição. Como estes resultados foram alcançados por um método matemático, as curvas construídas alcançam maiores níveis de deformação que aqueles do ensaio de tração e para estes valores mais elevados de deformação as curvas convergem, apresentando comportamentos equivalentes. Contudo, nota-se novamente uma pequena diferença como a encontrada na comparação com o ensaio de tração de ROHITHUPPALURI (2016) para pequenas deformações, que se deve, também, a acomodação das chapas no estágio inicial do ensaio de compressão.

4. CONCLUSÕES

Esta pesquisa assumiu o objetivo principal de realizar o levantamento das curvas de escoamento do material 22MnB5 em diferentes temperaturas, 650, 750, 850°C utilizando o método de compressão de empilhamento de chapas dentro de uma ferramenta projetada para obter um processo quasi-isotérmico, denominado “copo quente”.

Os resultados experimentais para as curvas de escoamento do aço 22MnB5 para as temperaturas 650, 750 e 850°C, mostraram-se análogos aos obtidos pelo ensaio de tração que foram adquiridos na literatura e aos obtidos através de um método matemático também encontrado na literatura.

Assim, a aplicação do ensaio de compressão de chapas e discos empilhados a quente mostrou-se eficiente para a avaliação do comportamento de materiais de pequena espessura durante deformação. De forma que por meio deste teste é possível construir curvas de escoamento com resultados confiáveis para níveis superiores de deformação, o que é impossível através do ensaio de tração.

Referencias

- [1] SCHAEFFER, L. Forjamento - Introdução ao Processo. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2006.
- [2] RODRIGUES, J., & MARTINS, P. Tecnologia Mecânica: Tecnologia da deformação Plástica. (Vol. I). Lisboa, Portugal: Escolar Editora, 2010.
- [3] MERKLEIN, M.; KUPPERT, A. A Method for the Layer Compression Test Considering the Anisotropic Material Behavior. International Journal of Material Forming, Springer, p. 483-486, 2009.
- [4] BOFF, U; FOLLE, L. F; MORAES, A. S. e. SCHAEFFER, L. Ensaio de compressão é adequado para obter curvas de escoamento em chapas finas, Seminário Internacional de Conformação de Chapas, Porto Alegre, 2011
- [5] MARTÍNEZ, A., MIGUEL V., COELLO, J., MANJABACAS, M.C., Determining stress distribution by tension and by compression applied to steel: Special analysis for TRIP steel sheets. Materials & Design Volume 125,, p. 11-25, 2017.
- [6] ROHITHUPPALURI B.; GRASS, H.; LIPP, A.; LIPP, A. Determination of Flow Curves by Stack Compression Tests and Inverse Analysis for the Simulation of Hot Forming. 7th European LS-DYNA Conference, 2016.
- [7] HOCHHOLDINGER B., GRASS H., LIPP, A. P., Determination of Flow Curves by Stack Compression Tests, 2009.