

## Análise experimental de estampagem a quente do aço 22MnB5 em matriz não refrigerada

Renan da Silva Ramalho. Mestre do Programa de Pós Graduação em Minas, Metalúrgica e Materiais na UFRGS.

E-mail: [renan.ramalho@ufrgs.br](mailto:renan.ramalho@ufrgs.br)

Camila Lisboa. Mestre do Programa de Pós Graduação em Minas, Metalúrgica e Materiais na UFRGS.

E-mail: [camila.lisboa@ufrgs.br](mailto:camila.lisboa@ufrgs.br)

Lirio Schaeffer. Engenheiro Mecânico, doutor em engenharia, professor titular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: [schaefer@ufrgs.br](mailto:schaefer@ufrgs.br)

**Resumo:** Este trabalho se propõe a analisar a microestrutura e microdureza da estampagem a quente do aço 22MnB5 muito utilizado onde se necessita alta resistência mecânica e baixo retorno elástico, como por exemplo os pilares B das carrocerias de alguns automóveis. O estudo foi realizado em matriz não refrigerada a temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. Foram utilizadas três temperaturas de aquecimento, 900°C, 1000°C e 1100°C com tempo de forno de sete minutos. O tempo médio de transferência dos corpos de prova para a prensa foi inferior a cinco segundos e o tempo de estampagem foi de aproximadamente dois segundos. O ensaio foi realizado em uma chapa de aço 22MnB5 sem revestimento, de dimensões 1,3mm x 20mm x 200mm com microestrutura composta por ferrita e perlita. Os corpos de prova após o ensaio apresentaram microestrutura composta por bainita, austenita retida e martensita. A microdureza média após o processo de conformação dos corpos de prova foi de 493HV<sub>0.5</sub> para austenitização realizada a 900°C, 455HV<sub>0.5</sub> para 1000°C e 468 HV<sub>0.5</sub> para 1100°C.

**Palavras-chave:** Estampagem a quente; Microdureza; Microestrutura.

## Experimental analysis of hot stamping of 22MnB5 steel in an uncooled matrix

**Abstract:** This work proposes to analyze the microstructure and microhardness of the hot stamping of 22MnB5 steel in an uncoated matrix at a room temperature of approximately 25 ° C. Three heating temperatures, 900 ° C, 1000 ° C and 1100 ° C were used with oven time of seven minutes. The mean transfer time of the test specimens to the press was less than five seconds and the stamping time was approximately two seconds. The test was performed on a uncoated 22MnB5 steel sheet, with dimensions of 1.3mm x 20mm x 200mm with microstructure composed of ferrite and perlite. The specimens after the test presented microstructure composed of bainite, retained austenite and martensite. The average microhardness after the test specimen was 493HV<sub>0.5</sub> for austenitization performed at 900 ° C, 455HV<sub>0.5</sub> at 1000 ° C and 468 HV<sub>0.5</sub> at 1100 ° C.

**Keywords:** Hot stamping, Micro hardness, Microstructure.

### 1 INTRODUÇÃO

No processo de estampagem a quente o aquecimento da chapa é realizado até temperatura de austenitização do material, que para o aço ligado ao boro 22MnB5 pode ser

entre os intervalos de 850°C a 950°C durante um período de aquecimento, que pode ser de 4 a 10 minutos, até alcançar uma microestrutura completamente austenítica. A chapa é conformada e a têmpera é realizada simultaneamente [1]. Com a conformação das chapas a quente se reduz o retorno elástico no final do processo e proporciona uma redução da resistência mecânica para a realização da estampagem, possibilitando estampar peças com maiores dimensões para uma mesma prensa, se comparado com peças estampadas à temperatura ambiente, devido à redução da tensão de escoamento conforme mostrado na Figura 1 e conseqüentemente, da energia necessária pela prensa para realizar a deformação [2].

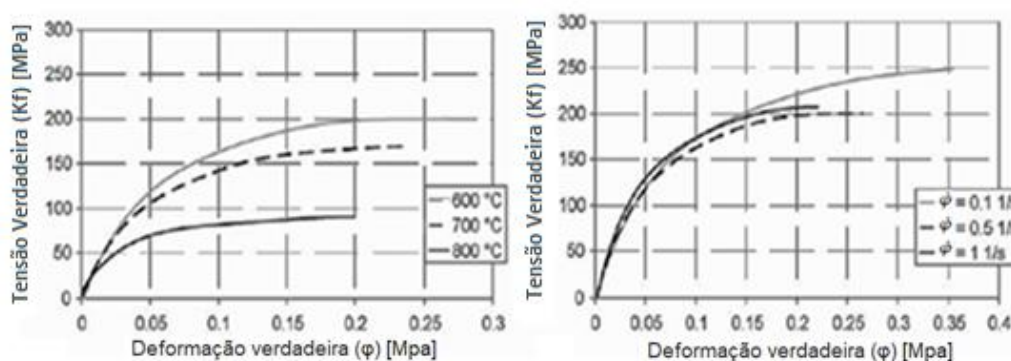


Figura 1: Curva de escoamento do aço 22MnB5 a quente e com diferentes taxas de deformações. Fonte: [1]

A estampagem a quente é empregada, principalmente, na produção de componentes para a indústria automobilística, cujos tamanhos dos componentes utilizados são relativamente grandes com diversos formatos. O diagrama de resfriamento contínuo para o aço 22MnB5 pode ser visto na Figura 2. O resfriamento rápido deve ser assegurado para que se obtenha uma estrutura totalmente martensítica, garantindo níveis de resistência mecânica acima de 1500 MPa [3] e durezas de 400 a 520 HV10 ou 40,8 a 50,5 HRC [4].

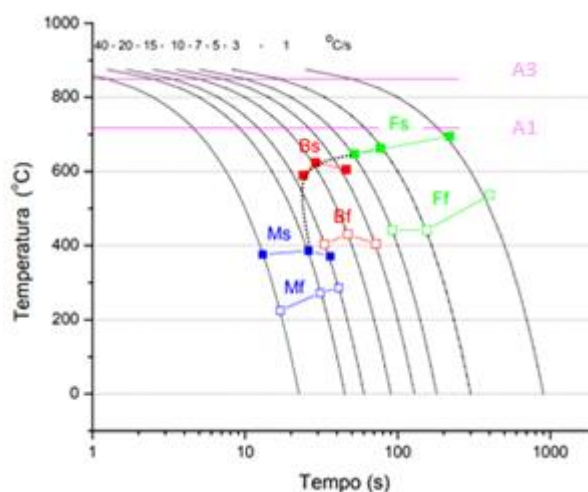


Figura 2: Curva Resfriamento Contínuo do aço 22MNB5. Fonte: [5]

A medida que a austenita é resfriada a mobilidade dos átomos diminui e as transformações são mais difíceis de ocorrerem. Segundo Tshiptschin (2006) a temperatura de austenitização completa do 22MnB5 é de 840°C, temperatura média da transformação da martensita conforme é de 378°C a 261°C e o início da transformação da bainita se dá na

temperatura média de 606°C. Somente com taxas de resfriamento iguais ou superiores a 20°C/s a formação seria constituída por 100% de martensita. Na Tabela 1 são mostrados os valores de microdureza em função da taxa de resfriamento.

Tabela 1 – Valores de microdureza Vickers em função da taxa de resfriamento. Fonte: [5]

Taxa de resfriamento [°C/s]	Dureza em HV 300g
1	191
3	235
5	266
7	284
10	287
15	331
20	481
40	475

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da estampagem a quente experimental foram utilizadas amostras do aço 22MnB5 nas seguintes dimensões: 210mm X 20mm X 1,30mm. Foram utilizadas três amostras com diferentes temperaturas de aquecimento, sendo estas aquecidas de aproximadamente 25°C (temperatura ambiente) a 900°C, 1000°C e 1100°C. Para realização dos ensaios foi utilizado um forno da marca Sanchis com capacidade de aquecimento de até 1200°C e prensa hidráulica de duplo efeito da marca Dan Presse com capacidade de 20 toneladas, conjunto de ferramentas para estampagem conforme a figura 3, resultando em peça com perfil de canal conforme a figura 5. Não foi utilizado pressão no prensa chapas, ou seja, o material foi posicionado na matriz inferior, e durante a conformação somente o peso do prensa chapas realizou pressão no material durante o processo. As ferramentas utilizadas não possuíam canais de refrigeração, a temperatura inicial da matriz e do punção para cada processo foi de aproximadamente 20°C.

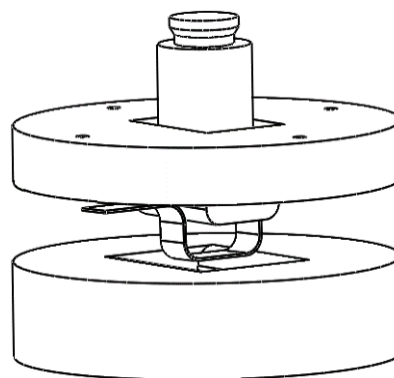


Figura 3 – Ferramentas utilizadas para a estampagem

Após a amostra ficar pelo tempo determinado (ver Tabela 2) para completa austenitização do material foi realizada a transferência com tenaz do forno para a prensa, o tempo médio de transferência do forno para a prensa foi inferior a 5 segundos até a matriz. As

temperaturas de início das estampagens para as amostras foram medidas com um termógrafo da marca FLUKE, modelo TI 400, e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros dos ensaios

Temperatura de aquecimento da amostra T [°C]	Tempo de aquecimento t [min]	Temperatura inicial de estampagem T [°C]
900	7	650
1000		700
1100		750

A perda de calor se deu por convecção no deslocamento do material do forno até a prensa e perda por condução no contato da peça aquecida com a matriz até o início da conformação, conforme a figura 4. O tempo médio de estampagem foi de aproximadamente 3 segundos.

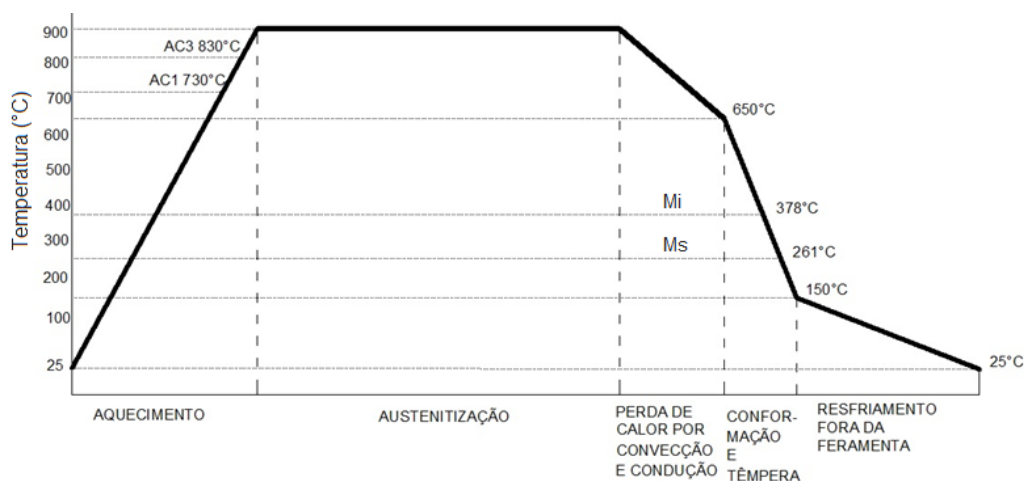


Figura 4: Ciclo térmico obtido do procedimento experimental das amostras aquecidas a 900°C.

Para a realização dos ensaios de micro dureza foi utilizado um microdurômetro da marca Insize Hardness Tester ISH-TDV1000, com carga de 0,5 kg. A peça foi dividida em cinco regiões para análise, como pode ser visto na Figura 05, sendo realizadas três medições em cada região.

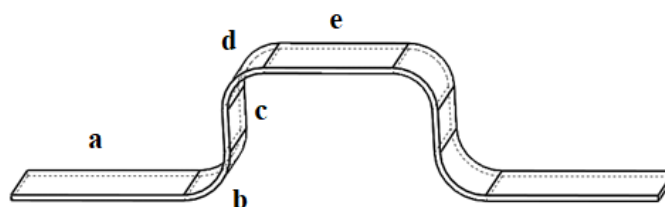


Figura 5: Divisão da peça em regiões para análise de microdureza

As metalografias foram realizadas na seção transversal da peça conformada em cada uma das cinco regiões definidas para análise (região a, b, c, d, e). As amostras foram cortadas com serra fita e embutidas. Para preparação das amostras foram utilizadas lixas de granulação 100, 220, 400, 600, 1200, polidas com pasta de diamante e ataque químico com Nital 3%. As imagens das microestruturas foram obtidas através de microscópio óptico da marca Olympus,

modelo Gx51. Foram realizadas análises quantitativas do teor de fases através das imagens metalográficas com o auxílio do programa Image J®. As imagens foram tratadas com os plug-ins, *Brightness / contrast*, *Lookup Tables – 16collors* e o plug-in de segmentação *Threshold*.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, na tabela 3, estão apresentados os valores das médias de microdureza por faixa de temperatura. Os resultados das durezas são diretamente proporcionais à microestrutura obtida após o processo de tratamento térmico realizado durante a estampagem, sendo que, a dureza da martensita depende diretamente do teor de carbono da liga [6].

Tabela 3 – Medidas das microdurezas em HV para as diferentes temperaturas de aquecimento

Temperatura de aquecimento	Material 22MnB5	Microdureza média
900°C	Microdureza média das regiões medidas	493 HV <sub>0.5</sub>
1000°C		455 HV <sub>0.5</sub>
1100°C		468 HV <sub>0.5</sub>

As microdurezas do material a frio antes do processo de conformação seguido de têmpera foram de 197 HV<sub>0,5</sub> e uma resistência máxima a tração de 651 Mpa. Os resultados obtidos após os ensaios ficaram dentro da faixa encontrada na bibliografia que é de 400HV<sub>0,5</sub> à 520HV<sub>0,5</sub>. Observando as Figuras 6, 8 e 10 que apresentam imagens das microestruturas observadas nas regiões (a), (b), (c), (d) e (e) das amostras de 900°C, 1000°C e 1100°C, identifica-se a presença de bainita, austenita retida e martensita.

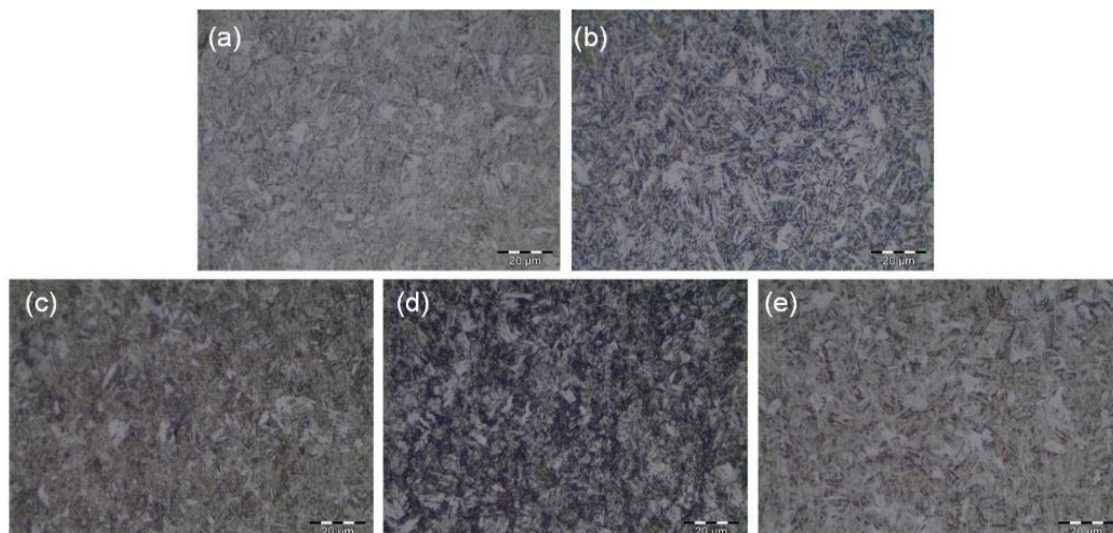


Figura 6: Metalografias após aquecimento a 900°C e estampagem a 842°C. (a) correspondente a região a da amostra, (b) correspondente a b, (c) correspondente a região c, (d) correspondente a região d e (e) correspondente a região e.

Nas Figuras 7, 9 e 11 podem ser visualizadas as distribuições das fases após a estampagem a quente. A distribuição não uniforme ao longo da peça se deve às diferentes taxas de resfriamento ao longo do processo de estampagem.



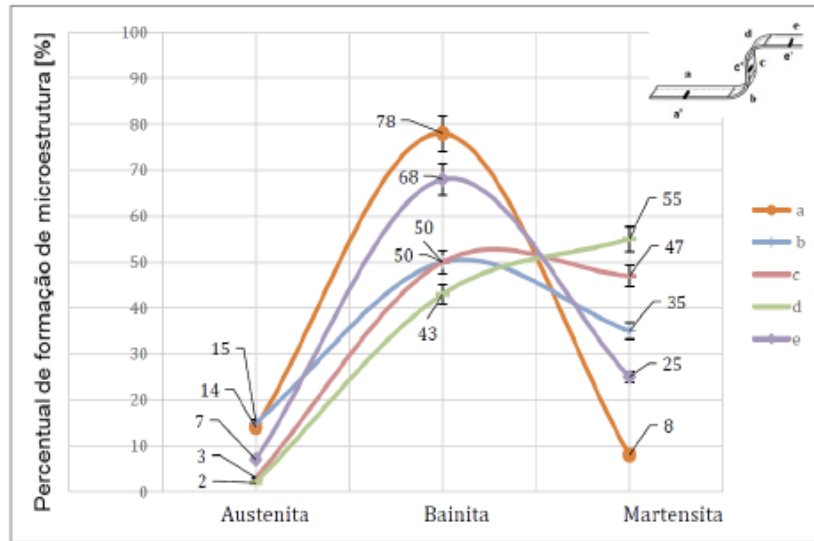


Figura 7: Distribuição de fases por região estampada a 1000°C

Constituída por agregados de ferrita e cementita a bainita pode se formar em uma faixa intermediária de temperatura da transformação eutetóide e a formação da martensita. A bainita superior se forma logo abaixo da faixa de transformação da perlita sendo composta por pacotes de ferrita.

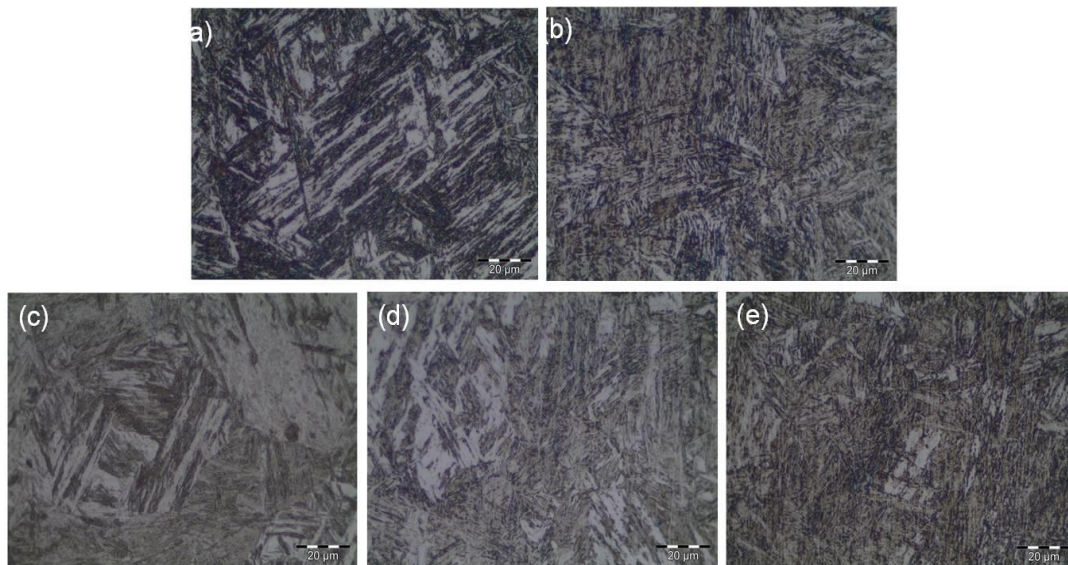


Figura 8: Metalografias após aquecimento a 1000°C e estampagem a 893°C (a) correspondente a região a da amostra, (b) correspondente ao b, (c) correspondente a região c, (d) correspondente a região d e (e) correspondente a região e.

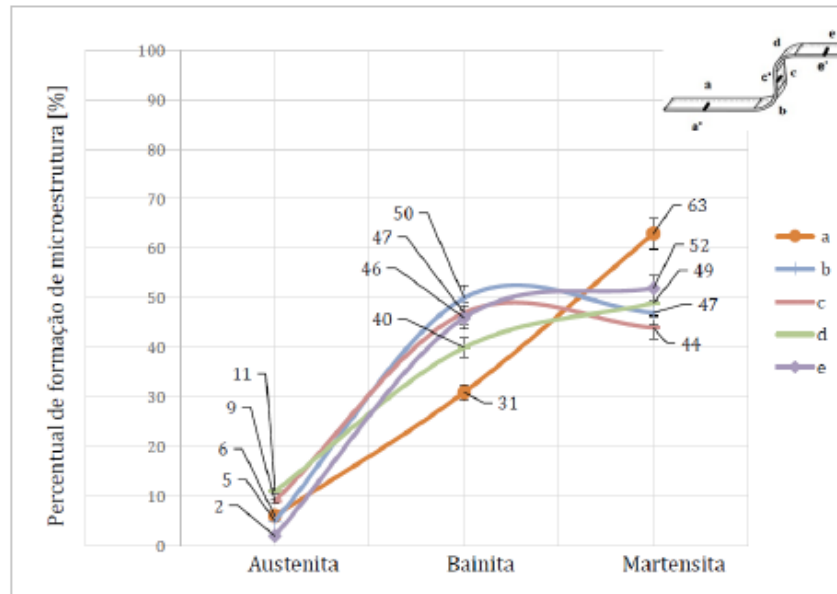


Figura 9: Distribuição de fases por região estampada a 1000°C

Conforme [7] em determinadas condições de transformação da microestrutura certas regiões podem ser enriquecidas em carbono o suficiente para se transformar, parcialmente, em martensita e manter partes com microestrutura de austenita retida.

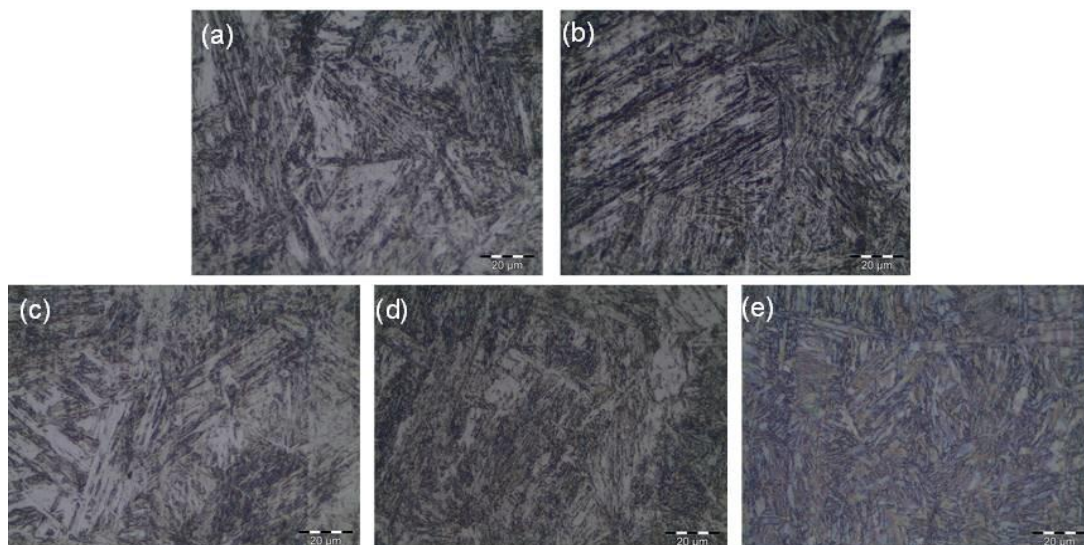


Figura 10: Metalografias após aquecimento a 1100°C e estampagem a 9670°C (a) correspondente a região a da amostra, (b) correspondente ao b, (c) correspondente a região c, (d) correspondente a região d e (e) correspondente a região c.

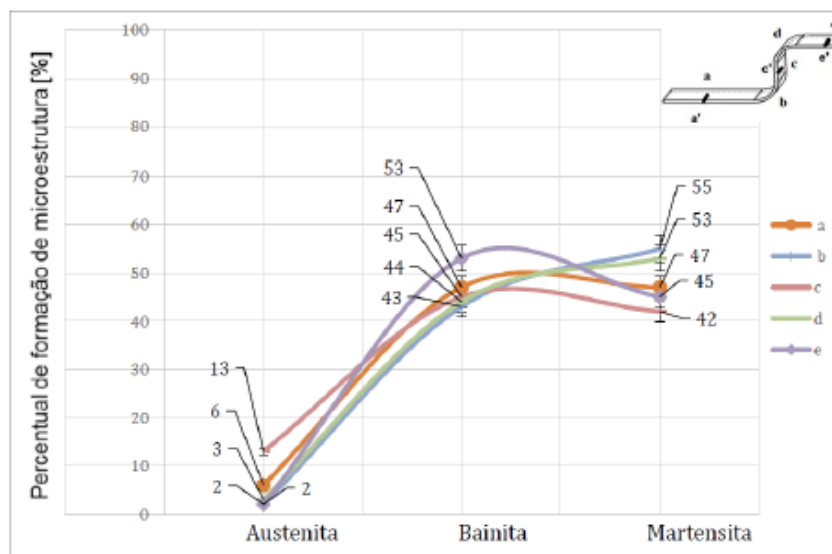


Figura 11: Distribuição de fases por região estampada a 1100°C

Os corpos de prova, por terem pequeno volume, sofreram grande perda de calor durante o deslocamento do forno para a prensa, por convecção e condução com a matriz até o começo do processo de conformação, conforme mostrado na Tabela 2 onde foram apresentados os valores iniciais das temperaturas de estampagem. A microestrutura encontrada no material após o processo de conformação a quente é composta por martensita, bainita e austenita retida. Conforme as Figuras 7, 9 e 11, onde é mostrado diferentes proporções de fases para as diferentes temperaturas de aquecimento, entre martensita e bainita refletindo como o esperado, devido a matriz não ter sistema de refrigeração e a temperatura ao longo da matriz não ser homogênea. O percentual médio da distribuição das fases nas peças aquecidas a 900°C e com temperatura inicial de estampagem de 842°C foi de aproximadamente: 35% de martensita, 58% de bainita e 8% de austenita. Nas peças aquecidas a 1000°C e estampadas a 893°C foi de aproximadamente: 51% de martensita, 42% de bainita e 8% de austenita. Nas peças aquecidas a 1100°C e estampadas a 967°C foi de aproximadamente: 49% de martensita, 47% de bainita e 4% de austenita. A ausência do sistema de refrigeração limitou obter taxas de resfriamento para uma transformação totalmente martensítica, devido ao aquecimento superficial da matriz durante o ensaio. Na literatura, onde é utilizado sistema de refrigeração os resultados da transformação a austenita é totalmente transformada em martensita para o aço 22MnB5. Entretanto as durezas após a conformação das peças ficaram dentro da faixa indicada pelo fabricante que é de 400 HV<sub>0,5</sub> a 500 HV<sub>0,5</sub>.

## 5 CONCLUSÃO

Mesmo a matriz não sendo refrigerada, na medição com o termógrafo não foi constatado aumento expressivo da temperatura da matriz após o processo de estampagem, sendo a temperatura inicial das ferramentas para cada processo de aproximadamente 25°C devido ao intervalo de tempo entre os ensaios. Foi observado, a partir das micrografias, que não se obteve a taxa de resfriamento mínima de 20 °C/s para a estrutura se transformar totalmente em martensita nas condições em que foram realizados os ensaios. As peças após estampagem e tratamento térmico apresentaram elevadas durezas mesmo não apresentando uma microestrutura 100% martensítica.



## **6 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Laboratório de Transformação Mecânica – LdTm, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS ao CNPQ e a CAPES pelas bolsas de estudo ofertadas.

## **7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Turetta, A., Bruschi, S., Ghiotti, A. Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006; 177(1-3), 396-400.
- [2] Hubertus Colpeart, metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4<sup>o</sup>ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- [3] Turetta, A., Investigation of Thermal, Mechanical and Microstructural Properties of Quenchenable High Strength Steels in Hot Stamping Operations. Tese de doutorado. Padova: Universita Degli Studi de Padova; 2008.
- [4] Cardoso, A. P. D., Miranda, F. J. F., Fernandes, T. S., Cerqueira, F., Reitz, F. J. Desenvolvimento de aços para estampagem a quente (USIBOR 1500) na arcelormittal vega. Abm week 71<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 16<sup>o</sup> ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week; 2016; setembro 26 a 30, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ABM; 2016. P 1184 – 1196.
- [5] TSHIPTSCHIN, A.P., Determinação de curvas de resfriamento contínuo de aço din 22mnb5. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Dezembro 2006.
- [6] Wilsius, J.; Hein, P.; Kefferstein, R. Status and future trends of hot stamping of Usibor 1500 P. Geiger, M.; Merklein, M.(Edtr.): Tagungsband zum, v. 1, 2006 p. 83-101.
- [7] Habraken L. J., Economopolous M. Bainitic microstructures in low carbon alloy steels and their mechanical properties, in Transformation and hardenability in steels. Ann Arbor: Climax Molybdenum. 1967.