

ESTUDO DO TEMPO DE AQUECIMENTO E DAS PROPRIEDADES MECANICAS NA ESTAMPAGEM A QUENTE DE CHAPAS DE AÇO¹

Valeria Araújo²
Osmar Bagnato³
Marcio Jose Rosales⁴
Fernanda Regina⁵

Resumo

A estampagem a quente tem ganhado mercado como uma alternativa aos processos de estampagem atuais, pois permite a fabricação de componentes estruturais usando aços de ultra-alta resistência, com menor espessura e elevadas propriedades mecânicas. O processo inclui as etapas de corte, aquecimento, resfriamento/conformação e envolve um complexo número de variáveis para assegurar a qualidade final do produto, tais como temperatura de aquecimento, tempo em contato com o ar durante a transferência para a prensa, taxa de resfriamento, entre outros. Algumas dessas variáveis, se não controladas, podem resultar em microestruturas e propriedades mecânicas diferentes daquelas desejadas. No presente trabalho foi investigado a influência do tempo de aquecimento nas propriedades finais de aço 22MnB5 revestido com uma camada de Al-Si. Ao final do processo identificou-se estrutura totalmente martensítica e suas propriedades mecânicas dentro do especificado. Foram realizados ensaios de conformação, preparação metalográfica para medir tamanho de grão, microdureza e estimada a tensão de resistência do material após a conformação. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que o tempo de aquecimento tem papel importante no processo, mas que outras variáveis devem ser devidamente parametrizadas e controladas para garantir a qualidade das peças.

Palavras-chave: Estampagem a quente; 22MnB5, Al-Si; Tempo de aquecimento.

STUDY OF HEATING TIME AND MECHANICAL PROPERTIES IN HOT STAMPING OF STEEL SHEET

Abstract

The hot stamping has gained the market as alternative to current stamping processes. It allows the manufacture of structural components using ultra-high strength steels, with smaller thicknesses and superior mechanical properties. The process is relatively simple, includes steps of: cutting, heating, cooling/conformation. It involves important factors to ensure the final quality of the product, such as the heating temperature, contact time with the air during the transfer to the press, the cooling rate, among others. Some of these factors, if done improperly, can result in a microstructure and mechanical properties different from the desired. In this paper was to investigate the influence of heating time, on the final properties of a 22MnB5 steel coated with an AlSi layer. At the end of the process the steel structure must be fully martensitic and their mechanical properties must be within the specified by the customer. Tests were conducted of conformation, metallographic, grain size, hardness and estimated the tensile strength of the material after the conformation. The results presented were as expected and one of the sample, although Martensitic structure, had values of grain size, hardness and resistance smaller than desired. With the results obtained, it can be concluded that the heating time has an important role in the process, but that other variables must be properly parameterized and controlled to ensure the quality of parts.

Key words: Hot stamping; 22MnB5 + AlSi; Heating time.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheira Mecânica, Universidade São Francisco, Itatiba, SP, Brasil.

³ Líder do Grupo de Materiais, LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron), Campinas, SP, Brasil.

⁴ Engenheiro de Materiais, LNLS (Lab. Nacional de Luz Síncrotron), Campinas, SP, Brasil.

⁵ Química, LNLS (Lab. Nacional de Luz Síncrotron), Campinas, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Combinar idealmente as propriedades mecânicas do material com o modo de conformação tem sido um problema da indústria de estampagem. Os processos atuais a frio tornam-se limitados devido à reduzida conformabilidade dos aços de alta resistência. A estampagem a frio provoca uma retração do material após as operações de estampagem, chamado “efeito mola” ou retorno elástico, além de redução da ductilidade dos materiais, além de causar desgaste nas ferramentas de conformação. Visando minimizar esses problemas, o processo de estampagem a quente tem sido um dos mais inovadores, pois torna possível a construção de componentes estruturais usando aços de ultra-alta resistência. O uso de chapas mais finas permite que o produto se torne mais leve, contribuindo para a redução do peso e conseqüentemente para a redução no consumo de combustível, diminuindo assim os níveis de emissão de CO₂. Apesar das reduções, as peças produzidas apresentam maiores resistências mecânicas, devido ao tratamento térmico que ocorre no aço durante sua conformação.

A estampagem a quente é usada principalmente na fabricação de componentes e reforços estruturais em carros de passeio. O processo envolve um grande número de variáveis que influenciam as características do produto final. Aquecimento e resfriamento devem ser monitorados de modo que propriedades mecânicas do produto final estejam conforme desejado.

Uma das principais razões atribuídas aos metais na tecnologia moderna é sua capacidade de ser deformado, atingindo formas desejadas. Por outro lado, a deformação dos metais, e em particular dos aços, conduz a significantes alterações em suas propriedades. A conformação mecânica tem, portanto dois efeitos principais: alterar a forma e as propriedades ou características do material.⁽¹⁾

Os projetos de liga para os aços destinados à estampagem a quente adotam teores de carbono da ordem de 0,20% e teores de manganês relativamente elevados, cerca de 1,20%. Este último elemento é extremamente efetivo para retardar a transformação da austenita, ou seja, para aumentar a temperabilidade do aço. Adições de boro, na ordem de apenas alguns milésimos de unidades percentuais, são muito eficazes para atrasar a transformação ferrítica. Esse elemento, quando presente na forma de solução sólida, segrega para os contornos de grão austeníticos e impede a nucleação da ferrita.⁽²⁾ O processo de estampagem a quente é a combinação de conformação e de endurecimento em uma única operação,⁽³⁾ ou ainda, combinação simultânea da aplicação de tensão e do resfriamento do material. Assim, a deformação realizada em condições austenísticas, com resfriamento controlado, permite obter uma microestrutura completamente martensítica em temperatura ambiente o que garante níveis de resistências acima de 1.500 MPa,⁽⁴⁾ como pode ser observado na Figura 1.

A variável que permite uma classificação mais coerente dos processos de conformação – no que diz respeito às características do produto – é a temperatura em que o processo ocorre. A deformação ocorre em condições de temperatura e taxa de deformação que permitem a recuperação e recristalização rápida, ocorrendo simultaneamente com a deformação ou entre etapas da conformação.⁽³⁾

A mudança das propriedades mecânicas do material com o aumento da temperatura mostra a importância do aquecimento. O material base 22MnB5 foi desenvolvido para ser usado após o tratamento térmico, apresentando nesse estágio ótimas características de resistência mecânica aliada às necessidades de deformação para os componentes estruturais.⁽⁵⁾

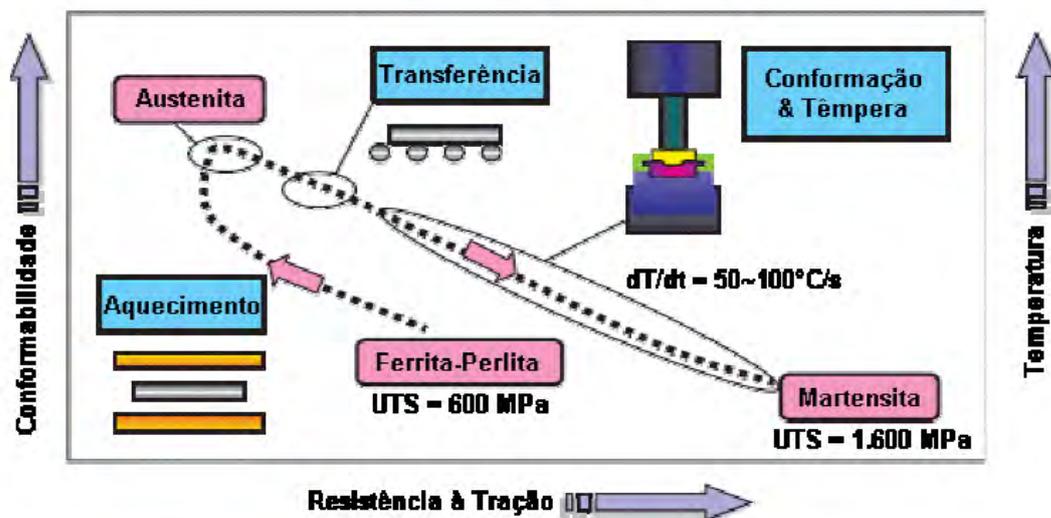


Figura 1. Máximas resistências e microestruturas durante o processo.⁽³⁾

A microestrutura ferrítica-perlítica do material em temperatura ambiente se transforma em austenita com alta plasticidade durante o aquecimento no forno, o que favorece a operação de estampagem.^(2,3) Uma das principais vantagens da conformação a quente é o fato de que as cargas necessárias para conformar o material são drasticamente menores que as utilizadas na conformação a frio. Vantagens da camada de Al-Si no material são notáveis nesta etapa do processo. A camada faz com que não seja necessário o uso de gases inertes no forno. O Al-Si é transformado em uma liga de Alumínio-Ferro-Silício que se adere perfeitamente ao substrato.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente projeto foi investigada a influência do tempo de aquecimento no aço 22MnB5 pré-revestido com uma camada de Al-Si, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do 22MnB5 no recebimento⁽³⁾

Fe	Mn	Si	C	Cr	Ti	P	B	S
Base	1,14	0,27	0,24	0,17	0,036	0,015	0,003	0,001

O aço 22MnB5 possui elevada resistência mecânica após a estampagem a quente e foi desenvolvido para responder as exigências de redução de peso e segurança para os automóveis.^(5,6) Inicialmente a chapa, como no recebimento, apresenta microestrutura ferrítica-perlítica com propriedades mecânicas limitadas (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades mecânicas do 22MnB5 no recebimento⁽⁵⁾

Tensão limite de escoamento (MPa)	Tensão limite de resistência (MPa)	Alongamento (%) (Lo=80mm e espessura<3mm)
350-550	500-700	≥ 10

O revestimento, que consiste em uma camada de aproximadamente 25 μm de alumínio-silício, foi desenvolvido para proteger o material do efeito de oxidação e principalmente descarbonetação no forno oferecendo uma boa resistência ao tratamento térmico.^(7,8) A camada foi formada para resistir ao tratamento térmico e ao processo de estampagem a quente. Dessa forma o processo de jateamento necessário para a retirada de oxidação é eliminado, o que por sua vez preserva as tolerâncias geométricas, evitando as deformações decorrentes destes processos. A camada de Al-Si permite que não seja necessário o uso de atmosfera inerte dentro do forno, é uma boa proteção contra a corrosão e tem boa aderência a pintura, pois adere perfeitamente ao substrato.⁽⁹⁾

Foram realizados ensaios de conformação em diferentes tempos de aquecimento, seguindo das análises de microdureza, tamanho de grão e fases do material para cada amostra, a fim de obter as características pós-conformação e estimar os possíveis defeitos no material. Com isto o estudo tem por objetivo verificar a relação entre tempo de aquecimento do aço e as propriedades mecânicas e microestruturais, a fim de obter parâmetros aceitáveis, para atender as especificações e evitar gastos com refugos de peças não conformes.

2.1 Ensaio de Conformação

O ensaio de conformação foi realizado conforme a descrição do processo de produção. Foram realizados ensaios com 7 amostras (Figura 2).



Figura 2. Amostras após processo produtivo.

O material utilizado na produção das amostras foi o 22MnB5 + Al-Si com 1,6 mm de espessura. O tempo de aquecimento variou entre 3 e 10 minutos, de forma que cada amostra teve um tempo diferente de aquecimento (Tabela 3). Nas etapas seguintes de transferência para a prensa, conformação e resfriamento, os parâmetros foram iguais para todas as amostras. Uma das peças, a amostra A0, foi usada como amostra de controle.

Tabela 3. Tempos de aquecimento das amostras

Amostra	Tempo de aquecimento (minutos)
A1	T1
A2	T2=T1+0,42 min
A0	T3=T1+0,67 min
A3	T4=T1+1,75 min
A4	T5=T1+2,67 min
A5	T6=T1+4,33 min
A6	T7=T1+7,50 min

A modificação do tempo de aquecimento se deu através da mudança de velocidade dos rolos de avanço de peça, localizados dentro do forno. Tal velocidade é modificada através da mudança da frequência de alimentação do motor. Devido essa velocidade e o tempo que a peça demora em percorrer o comprimento do forno não serem grandezas lineares, não foi possível obter um intervalo de tempo igual entre as amostras. Assim, a determinação do tempo tornou-se aleatória.

2.2 Ensaio Metalográfico

Foram realizados procedimentos usuais para análise metalográfica que envolvem as etapas de corte, lixamento, polimento e análise em microscópio ótico, sendo estes procedimentos necessários para gerar resultados sem máscaras.^(10,11) O ensaio metalográfico foi realizado no Grupo de Materiais do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). A Figura 3 mostra a região da peça analisada.



Figura 3. Área da amostra selecionada para ensaio metalográfico.

Com o auxílio do microscópio ótico foi possível analisar aspectos superficiais das amostras. O ataque químico utilizado foi 2% Nital e a amostra foi atacada durante 15 segundos. As análises de tamanho de grão foram realizadas no software do microscópio, baseado na norma ASTM E 112. Todas as imagens foram obtidas no

aumento de 500x e traçadas retas de 150 μm , seguindo assim o método de interseção linear. Por fim, foi realizado o ensaio de microdureza devido à espessura da chapa a ser estudada. Os ensaios foram realizados no microdurômetro universal, com carga de 200 g durante 15 segundos. Foram obtidos resultados em Vickers e HRC. Em seguida fez-se uso da norma DIN EN ISO 18265,⁽¹²⁾ para obter a conversão dos valores de dureza para tensão de resistência do material.

3 RESULTADOS

Após a conformação das peças foi realizada análise visual, para detectar possíveis defeitos nas peças, tais como trincas, rugas ou dimensionamento fora da tolerância. A amostra A0, Figura 4, foi processada de acordo com o tempo atualmente utilizado (T0), amostra de controle (padrão). É importante ressaltar que algumas manchas vistas nas microestruturas decorrem do ataque químico. Após o processo de conformação é possível identificar uma microestrutura completamente martensítica, conforme esperado.

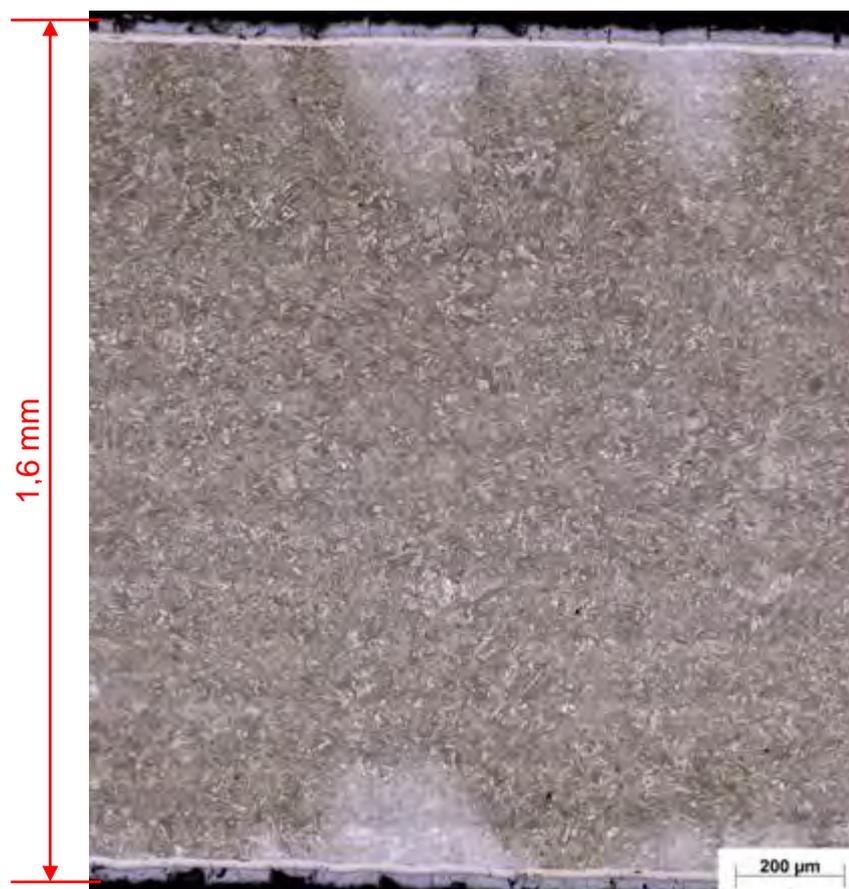


Figura 4. Mosaico de fotos e fotos da amostra A0 (aumento 500x).

Os resultados do contorno de grão e das propriedades mecânicas (dureza e limite de resistência do material) das amostras em função do tempo de aquecimento são apresentados na Tabela 4. Vale ressaltar que a amostra A0 é a referência para controle. Em todos os casos analisados, conforme especificado na norma, o processo de estampagem a quente forma uma microestrutura martensítica.

Tabela 4. Tamanho de grão, dureza e limite de resistência para as diversas condições analisadas

Amostra	Tempo de aquecimento (minutos)	Tamanho do grão (μm)	Dureza (HV)	Limite de resistência (MPa)
A1	T1	4,00	499,4	1628
A2	T2=T1+0,42 min	6,37	483,6	1569
A0	T3=T1+0,67 min	9,34	475,6	1539
A3	T4=T1+1,75 min	5,90	356,0	1143
A4	T5=T1+2,67 min	9,87	479,9	1554
A5	T6=T1+4,33 min	15,03	475,6	1539
A6	T7=T1+7,5 min	17,09	476,9	1544

A Figura 5 mostra a microestrutura formada para cada tempo de aquecimento. É possível notar que o refino da estrutura martensítica é função do tempo de aquecimento, uma vez que o processo de transformação de fase depende da taxa de resfriamento do material.

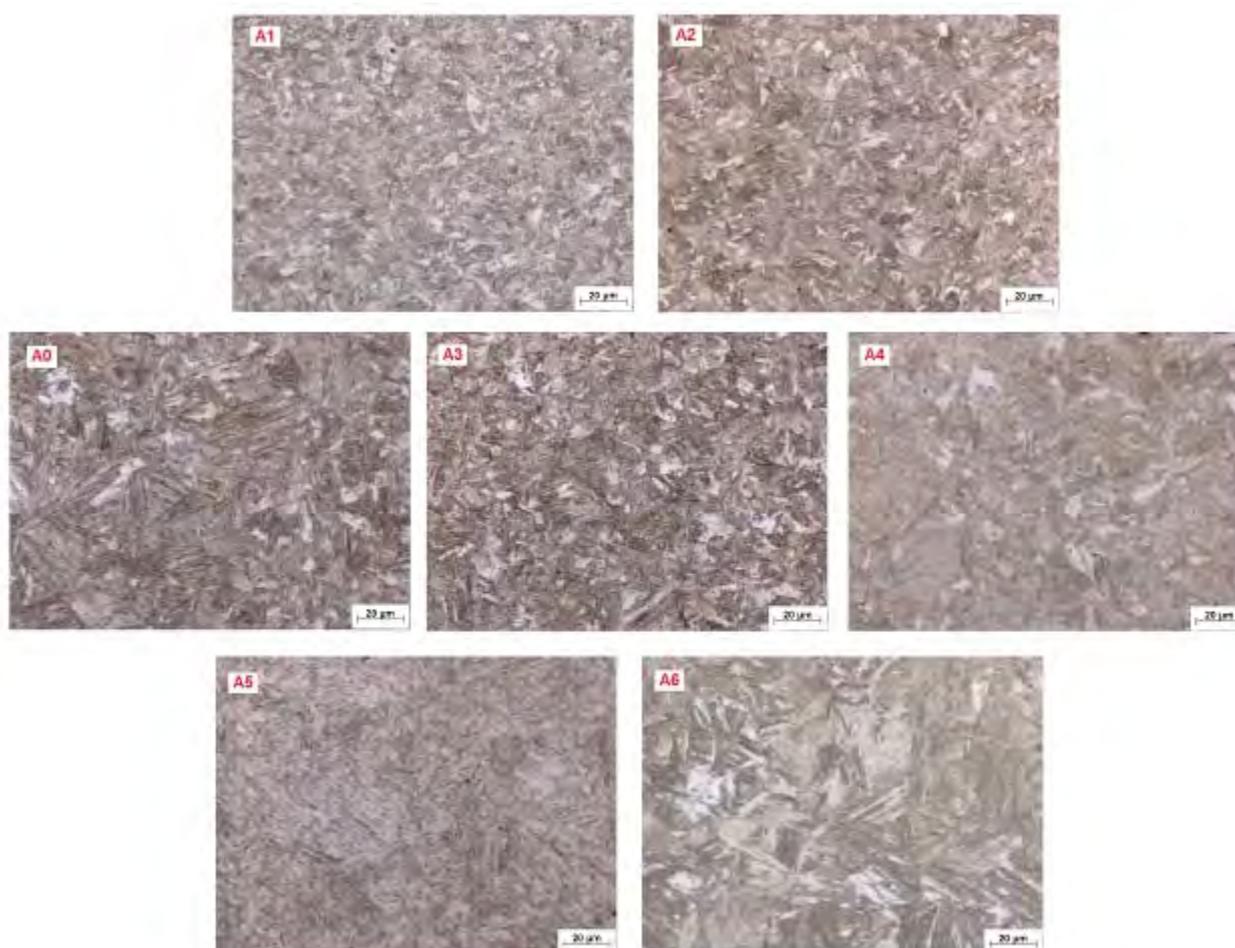


Figura 5. Comparação de microestruturas das amostras.

Conforme previsto na literatura e observando a Figura 6, é possível notar que quanto maior o tempo, maior será o tamanho do grão martensítico. Apesar da maioria das amostras apresentarem essa característica, a amostra A3 teve valor menor que o

esperado. Sendo possível confirmar tal dado observando a foto de comparação das microestruturas na Figura 5.

Tamanho de grão em função do tempo de aquecimento

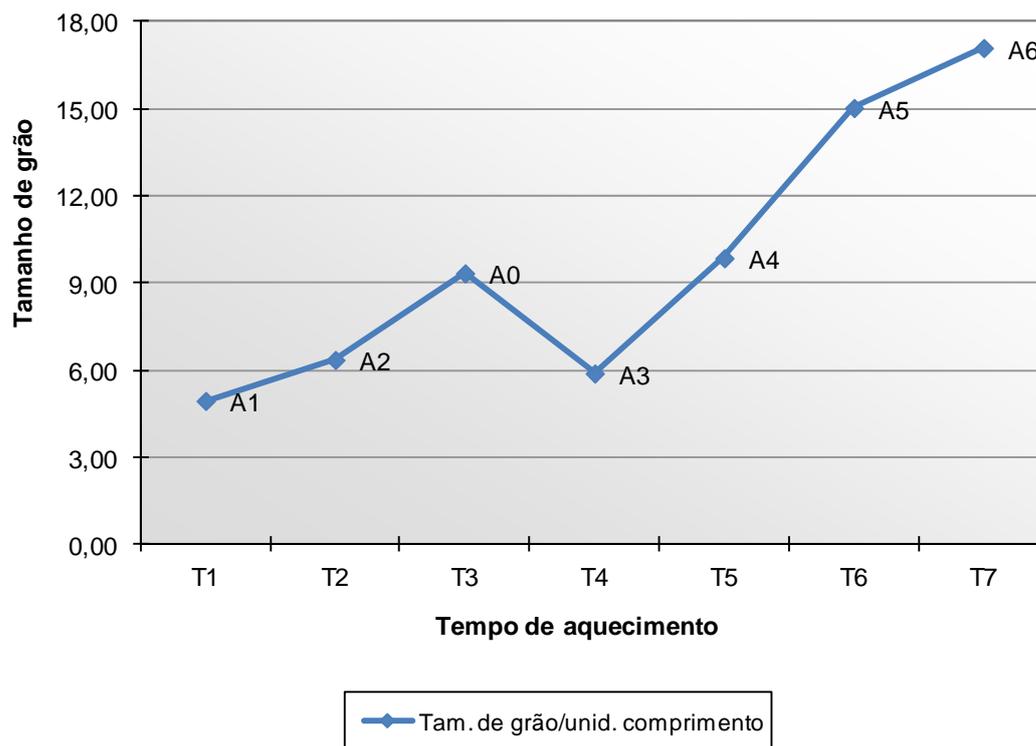


Figura 6. Tamanho de grão das amostras em função do tempo de aquecimento.

A Figura 7 mostra a relação entre as propriedades mecânicas do material em função do tempo de aquecimento durante o processo de estampagem a quente. Observa-se evidente diferença de valores para amostra analisada A3, quando comparada com os demais resultados das condições estudadas. A análise dos resultados mostra uma relação linear entre o tempo de aquecimento e a dureza do material. Existem diversos fatores que podem influenciar a queda de resistência mecânica do material que originou a diferença apresentada. A formação de uma microestrutura com maior porcentagem de austenita retida (não transformada) é confirmada na Figura 5 e explica essa acentuada queda de resistência mecânica do material. A mesma correlação pode ser evidenciada quando analisado o tamanho de grão formado em função do tempo de aquecimento da amostra (Figura 6). Algumas variáveis não controladas durante o processo de produção podem ter influenciado no resultado final da amostra A3 como, por exemplo, a temperatura da peça na saída do forno ou o tempo de contato com o ar durante a transferência para a prensa, podendo ter resultado em uma taxa de resfriamento diferente das demais amostras.

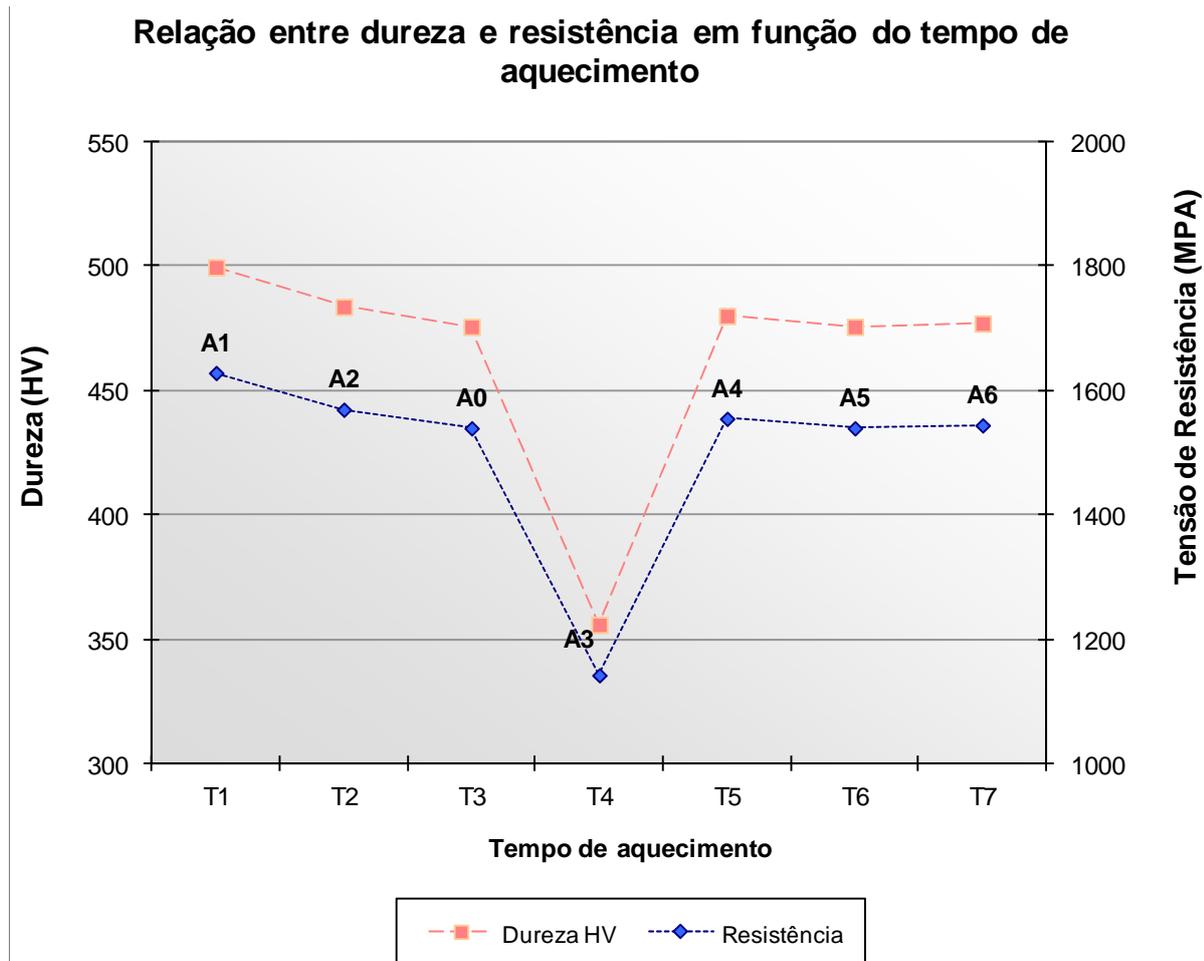


Figura 7. Relação entre dureza e resistência, em função do tempo de aquecimento.

4 CONCLUSÃO

A realização dos ensaios foi essencial para análise prévia do que acontece com uma chapa de aço estampada a quente, ao ser modificado o tempo de aquecimento das peças. As análises apresentadas mostraram que em 6 amostras, de um total de 7, foram alcançados os resultados desejados.

As amostras A0, A1, A2, A4, A5 e A6 apresentaram microestrutura martensítica e propriedades mecânicas conforme especificado, de forma que as tensões de resistências estimadas são superiores a 1.500 MPa.

A amostra A3, apesar de ter estrutura martensítica, teve valores de tamanho de grão, dureza e resistência menores que o esperado. Ocorreram transformações de fases diferentes, como a formação bainita, ou ainda a austenita não transformada durante o processo, resultando em austenita retida. É importante ressaltar que os ensaios realizados no presente trabalho, não são suficientes para detectar quais as composições microestruturais presentes, sendo necessária a realização de ensaios específicos para tal detecção.

Com os resultados obtidos, pode se concluir que o tempo de aquecimento tem um papel importante no processo, mas que outras variáveis devem estar devidamente parametrizadas e controladas para garantir a qualidade das peças.

O trabalho pode ser continuado realizando ensaios para revelar os microconstituintes do material, como a difração por raios-X, que revela as fases não detectadas na microscopia ótica.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. Aços e ligas especiais. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- 2 GORNI, A. A. Novas tendências para o processo de estampagem a quente. Corte & Conformação de Metais, Aranda Editora, p. 62-77, jun. 2010.
- 3 SILVEIRA, V. H. M.; SCHAEFFER, L. Estampagem de chapas de alta resistência para uso automotivo. Siderurgia Brasil, 2011.
- 4 GRAFF, S.; LENZE, F. Simulating the hot stamping process of high-strength 22MnB5: From hot stamping to crash-simulations. Steel Grips, 2009.
- 5 ARCELOR MITTAL, Steels for hot stamping. Product Catalogue, 2008.
- 6 NORMAN, P.; WIKLUND, G.; MALMBERG, N.; KAPLAN, A.F.H. Comparison of 22mnb5-steel with and without als-coating during laser hybrid arc welding. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2011.
- 7 BARCELLONA, A.; PALMIERI, D. Effect of Plastic Hot Deformation on the Hardness and Continuous Cooling Transformations of 22MnB5 Microalloyed Boron Steel. Metallurgical and Materials Transactions, 2009.
- 8 PADILHA, A. F. Materiais de engenharia: Microestrutura e Propriedades. 1. ed. São Paulo: Hemus Editora, 1997.
- 9 ALTAN, T. Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts. Stamping Journal, jan. 2007.
- 10 COLPAERT, Hubertus. Metalografia do produtos siderúrgicos comuns. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.
- 11 GIOTO JUNIOR, M. E. Estudo das deformações geométricas de furos e oblongos em peças estruturais conformadas a quente. 2011. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 12 DIN EN ISO 18265:2003. Metallic materials: Conversion of hardness values.