

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE NO ESTADO FORNECIDO E APÓS TRATAMENTO TÉRMICO

Moisés Luiz Parucker

César Edil da Costa

Athos Henrique Plaine

Julio Milan

Douglas Novack

Rafael Fernando Sgarbossa

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina/Centro de Ciências Tecnológicas

R. Paulo Malschitzki, 200 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710

moises_parucker@hotmail.com

Resumo: os aços ferramentas para trabalho a quente são utilizados em moldes e matrizes de forjamento, extrusão e fundição sob pressão. No processamento da fundição sob pressão em moldes metálicos ocorrem vários fenômenos que alteram as características do material do molde: ação de altas pressões, elevadas temperaturas, ciclos térmicos e fluxos de alta velocidade de metal fundido, tornando a injeção de alumínio bastante desgastante para os materiais do molde. Estes fenômenos podem resultar em uma série de falhas que levam à frequentes paradas de produção e manutenção do ferramental, elevando os custos de produção. Tais aços também operam em temperaturas que ultrapassam 500°C e formas de aumentar sua resistência ao desgaste e à fadiga térmica tem sido estudados. A escolha do aço e do tratamento térmico adequado são algumas das condições para melhorar o tempo de vida útil destas ferramentas. Neste trabalho foi realizado a caracterização microestrutural de sete aços ferramenta para trabalho a quente da classe AISI H11, AISI H13 e DIN 1.2367, recomendados para a produção de moldes para injeção sob pressão de alumínio. Para a caracterização dos aços foi realizado a análise microestrutural dos aços como fornecido e após tratamento térmico. O tratamento térmico foi realizado em forno a vácuo utilizando temperaturas de austenitização foram entre 1010 e 1030°C por 40 minutos, dependendo do tipo de aço, seguido de três revenidos até 600°C. As técnicas de caracterização utilizadas envolveram microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de emissão óptica e dureza Rockwell escala C. Os aços foram fornecidos no estado recozido e todos apresentam microestrutura ferrítica e partículas de carbeto homogeneamente dispersos na matriz com tamanho inferior a 1 µm. Após tratamento térmico, todos os aços apresentaram dureza média de 45 HRC e microestrutura martensítica.

Palavras-chave: Aço para trabalho a quente; Tratamento térmico; microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

A fundição de ligas de alumínio é vista como uma tecnologia estratégica, uma vez que é possível obter peças com diferentes geometrias em larga escala e produtividade. O processo de fundição sob pressão é também conhecido como HPDC (*High Pressure Die Casting*) e é responsável pela grande parte dos fundidos produzidos em ligas leves, principalmente para a indústria automotiva.

Neste processo, o metal líquido é injetado em altas velocidades e pressão no interior de uma cavidade conhecida como matriz. Entretanto, o processo de injeção por ser um processo de alta produtividade e fazer uso de condições de ciclagem térmica severa, faz com que a superfície dos moldes sofram desgaste e fadiga térmica com o tempo, afetando a qualidade superficial das peças produzidas, além da parada de máquinas, rejeição e descarte de peças defeituosas e gastos com manutenção dos moldes.

Esta abordagem motiva a continua melhoria em relação a todos os fatores que interagem em sua aplicação, especialmente ao tipo de aço utilizado, visto que a produção de peças automotivas de alumínio vem crescendo devido à necessidade por componentes de baixo peso e a necessidade do aumento da eficiência energética dos veículos e redução das emissões de gases.

Os aços ferramenta para trabalho a quente em geral possuem mais de 5% (em massa) de elementos de liga como Cr, Mo, V e W, sendo os aços da classe AISI H11 e AISI H13 os mais utilizados (Mesquita *et al.*, 2008). Estes aços apresentam uma microestrutura formada por carbonetos que podem ser de cromo, molibdênio ou vanádio e a sua fração volumétrica, tipo, distribuição e morfologia são os fatores apontados como os mais significativos para as propriedades dos aços ferramenta. A dispersão uniforme desses carbonetos que podem ser de MC, M₂C, M₃C, M₆C, M₇C₃ e M₂₃C₆ depende do estágio do processo de fabricação em que eles se formam (Silva *et al.*, 2010).

Devido ao emprego que estes aços apresentam, principalmente em condições envolvendo ciclagem térmica, é importante que o material apresente alta dureza a quente e alta tenacidade que podem ser alcançados por meio de tratamentos térmicos adequados, conferindo ao material adequadas propriedades mecânicas para a aplicação a qual se destina (Mesquita *et al.*, 2003). Durante o tratamento térmico de austenitização, o carboneto eutético metaestável $M_{23}C_6$ entra em solução sólida, assim como os carbonetos do tipo M_3C e M_7C_3 (dependendo da temperatura de tratamento térmico), enquanto o M_2C se transforma em MC e M_6C , que são mais estáveis (Momeni *et al.*, 2014).

A fadiga térmica constitui hoje um dos principais problemas dos aços ferramentas utilizados na fundição sob pressão de ligas de alumínio devido a alternância de temperatura superficial das matrizes, que gera fino arranjo de trincas e pode impossibilitar seu uso (Roberts *et al.*, 1980). A utilização de aços com maior tenacidade é fundamental nos casos de fadiga térmica, inibindo a propagação das trincas e reduzindo o dano causado.

Para garantir um desempenho satisfatório de moldes e matrizes nas aplicações mais exigentes, é necessário também que o aço apresente um alto nível de isotropia, que pode ser obtido por homogeneidade estrutural, baixos níveis de inclusões não metálicas e de segregação (Mesquita *et al.*, 2002). Estes aços podem ser obtidos pelo processo de refusão do tipo electroslog remelting (ESR) e são conhecidos como aços refundidos.

As características das ferramentas para trabalho a quente motivam a contínua melhoria em relação a todos os fatores que interagem em sua aplicação. Isto inclui a seleção adequada do tipo de aço em função de sua composição química, por exemplo. Além disso, no caso específico do bom desempenho do processo de injeção sob pressão de alumínio, inúmeros parâmetros podem influenciar a vida útil do ferramental. Entre eles, podemos citar também, além da seleção adequada do aço, o projeto adequado do molde e os tratamentos térmicos aplicados a fim de obter ferramentas com melhores propriedades de tenacidade, resistência ao desgaste a altas temperaturas e resistência ao impacto (Klobcar *et al.*, 2007).

Estima-se que 70- 80% das falhas em aços ferramenta são devidas a algum tratamento térmico deficiente e um tratamento térmico inadequado pode levar a redução do tempo de vida útil do ferramental (Canale *et al.*, 2008). Uma das etapas mais importantes para os aços para trabalho a quente é a temperatura de revenimento no qual o ocorre a precipitação de carbonetos de liga, resultando no efeito conhecido por endurecimento secundário, devido a precipitação de carbonetos chamados secundários.

Gonçalves *et al.* (2018) apresentou os efeitos do tratamento térmico de têmpera e revenido de um aço AISI H11 refundido, temperados entre 900 e 1070°C e revenidos entre 500 e 600°C. Foi observado que temperaturas mais elevadas de austenitização resultaram em aumento do tamanho de grão e da dureza e que para o revenido, a dureza cai e a energia de absorção no ensaio de impacto sofre um aumento entre 500-600°C.

Guillen *et al.* (2014) apresenta um estudo com vários aços, entre eles um aço AISI H13 refundido com 1% p/p de Si e 1,30% p/p de Mo austemperado a 1020 °C por 30 minutos em óleo. O aço foi submetido a duplo revenido em temperaturas de 570, 600, 615 e 635 °C por 2 horas. Para durezas de 44,5 HRC obteve um limite de resistência à tração de 1365,2 MPa e resistência ao impacto Charpy-V de 39,3 J. Foi observado que durezas menores (36,3 HRC) apresentaram menor limite de resistência à tração e maior resistência ao impacto.

Em outro trabalho, Morais *et al.* (2019) descreveu a influência da composição química e da temperatura de autenitização (950 e 1100°C) no comportamento mecânico de aços AISI H13, H11 e DIN 1.2367. Observou que para temperatura de 1100°C houve formação de martensita e contornos de grãos maiores, além de maior dureza. Em termos de resistência à tração, o aumento da temperatura de autenitização levou a maiores valores de limite de resistência à tração, limite de escoamento e menor alongamento em temperatura de 1100°C. O teor de Si é inversamente proporcional à tenacidade do material.

Como a fadiga térmica é resultado da grande variação de temperatura que influencia o estado de tensão-deformação do material, tem-se que para uma mesma condição de trabalho, as propriedades do material que influenciam o nível de trincas térmicas são: quanto maior a tensão de escoamento a quente, menor será a deformação plástica resultante e portanto, menos trincas térmicas ocorrerão (Ribeiro, 1998; Ebner *et al.*, 2008).

Para se obter uma maior tensão de escoamento, deve-se evitar o crescimento de grão no processo de austenitização pois levaria a fragilização da martensita e possíveis surgimentos de trincas. A presença de elementos de liga como o vanádio, por exemplo, atua no controle do tamanho de grão da austenita, sendo que a temperatura de austenitização deve garantir a dissolução dos elementos como cromo e molibdênio, porém deve evitar a total dissolução do vanádio. Assim, se garante um pequeno tamanho de grão da martensita após o resfriamento do aço e após revenimento, a precipitação de carbonetos secundários para obter elevada tensão de escoamento associada ao máximo de ductilidade (Ribeiro, 1998).

Zhu *et al.* (2004) relata outro fator que contribui para o início das trincas superficiais que é o intenso aquecimento da superfície da ferramenta que pode provocar um revenido na estrutura martensítica próxima à superfície, causando uma diminuição da dureza que contribui para a iniciação e propagação de trincas. Este aquecimento intenso também aumenta a rugosidade superficial, o que contribui para o aumento da ocorrência de soldagem e erosão na superfície dos moldes.

Persson *et al.* (2004) e Porter *et al.* (1992) ainda relatam que nucleação de trincas tem origem na solda de frações da liga de alumínio na superfície da ferramenta e que o subsequente crescimento destas fissuras é facilitado pelo preenchimento destas com o material fundido, pela oxidação e pelo amolecimento do material da ferramenta.

Para minimizar os efeitos da fadiga térmica, a escolha adequada de materiais com propriedades termomecânicas adequadas às condições de serviço é importante, como baixo coeficiente de expansão térmica, ductilidade adequada, boa tenacidade, alta resistência mecânica e alta condutividade térmica (Ribeiro, 1998; Lampman *et al.* 1996).

A dureza alta previne a deformação plástica e fadiga e para os moldes de injeção de alumínio sob pressão deve estar na faixa de 45 HRC (Fuchs, 2002).

Vários estudos tem demonstrado que diferentes temperaturas de autenitização e revenido resultam em grandes diferenças na estabilidade térmica do material. Em escala microestrutural, a temperatura de autenitização influencia o tamanho da estrutura martensítica, a morfologia e a fração de volume dos carbonetos primários presentes e a temperatura de revenido, influencia os carbonetos secundários (Podgornik *et al.*, 2015; Sjostrom *et al.*, 2002).

Altas temperaturas de autenitização afetam a tenacidade e a dureza devido a dissolução de carbonetos e sua posterior precipitação, assim como afeta a quantidade e tipo de carboneto dissolvido (Leskovsek *et al.*, 2006; Podgornik *et al.*, 2015). Já a temperatura de revenido influencia a dureza e tenacidade e podem resultar em uma mudança drástica na tenacidade e na taxa de propagação da trinca (Leskovsek *et al.*, 2006).

Em aços AISI H11 e AISI H13, a tenacidade e a dureza variaram inversamente em função do aumento da temperatura de revenido (Souki *et al.*, 2011).

Neste sentido, este artigo apresenta a caracterização microestrutural de sete diferentes aços ferramenta comerciais para trabalho a quente utilizados em moldes para injeção de alumínio sob pressão, das classes AISI H11, AISI H13 e DIN 1.2367 no estado fornecido a após submetidos a tratamento térmico, para subsidiar o comportamento mecânico destes aços em serviço.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados 7 (sete) aços ferramenta para trabalho a quente, cujos aços são utilizados em ferramentas para injeção do alumínio. Todos estes aços são aços refundidos pelo processo de refusão do tipo ESR (*Electroslag remelting*). Os aços comerciais utilizados para o estudo foram da classe AISI H11, AISI H13 e DIN 1.2367 identificados com aços A, B, C, D, E, F e G.

A Tabela 1 apresenta a composição química dos aços no estado fornecido.

Tabela 1. Composição química dos aços.

AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)
A	0,36C-0,25Si-0,25Mn-0,009P-0,001S-4,98Cr-1,31Mo-0,39V
B	0,39C-0,2Si-0,52Mn-0,005P-0,001S-4,96Cr-1,74Mo-0,54V
C	0,38C-0,80Si-0,38Mn-0,010P-0,001S-5,24Cr-1,20Mo-0,83V
D	0,37C-0,17Si-0,5Mn-0,007P-0,0003S-5,08Cr-2,3Mo-0,54V
E	0,35C-0,44Si-0,61Mn-0,015P-0,001S-5,2Cr-2,3Mo-0,56V
F	0,35C-0,27Si-0,32Mn-0,012P-0,001S-4,87Cr-2,84Mo-0,56V
G	0,35C-0,28Si-0,29Mn-0,009P-0,001S-4,52Cr-1,74Mo-0,77V

O tratamento térmico foi realizado a vácuo e as condições para a têmpera e revenido seguiram as recomendações da NADCA 207 (2018) para cada classe de aço, a fim de se obter durezas entre 44-46 HRC.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de processamento utilizados. Para a austenitização, após tempo de exarque, todos os aços foram resfriados com gás nitrogênio sob pressão de 5 bar. Após têmpera, todos os aços foram submetidos a três revenidos e resfriados ao ar.

Tabela 2. Parâmetros de tratamento térmico conforme regulamentação da NADCA (NADCA 207, 2018).

AÇO	Austenitização (°C) 40 minutos	Revenido 1 (°C) 120 minutos	Revenido 2 (°C) 120 minutos	Revenido 3 (°C) 120 minutos
A	1010	575	605	595
B	1010	575	605	595
C	1030	575	605	540
D	1010	575	605	605
E	1020	575	605	605
F	1030	575	610	595
G	1030	575	610	595

Os aços no estado fornecido pela usina e após tratamento térmico foram submetidos à preparação metalográfica através de corte, desbaste, embutimento, lixamento com lixas de granulometria de 100 a 600 mesh, polimento até granulometria de 1 µm e polimento final com pasta de diamante. O ataque químico dos aços foi realizado com Nital 5%.

Para determinação das fases, possíveis poros, óxidos ou segregações presentes nos aços no estado fornecido, foi utilizado um microscópio óptico Leica, DM-4000M. Para a determinação das fases após tratamento térmico, além do microscópio óptico foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, marca Philips XL30, sendo obtidas imagens utilizando-se o detector de elétrons secundários (SE) e retroespalhados (BSE).

A identificação da composição dos carbeto dos aços foi realizada com um difratômetro de Raio-X, marca Shimadzu, XRD-7000 com radiação $K\alpha$ do cobre $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ e intervalo de varredura em 2θ , de 20 a 120° .

A avaliação da composição química dos aços como fornecido foi realizado com o emprego de um espectrômetro de emissão óptica da Shimadzu OES-5500II.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização no estado fornecido

A Figura 1 apresenta a microestrutura dos aços fornecidos. Observou-se que todas as microestruturas apresentaram características típicas de aços ferramenta processados termicamente por recozimento com carbonetos homogeneamente e finamente distribuídos em uma matriz ferrítica, apresentando baixo nível de microsegregação ou poros, devido ao processo de refino em que os aços foram submetidos.

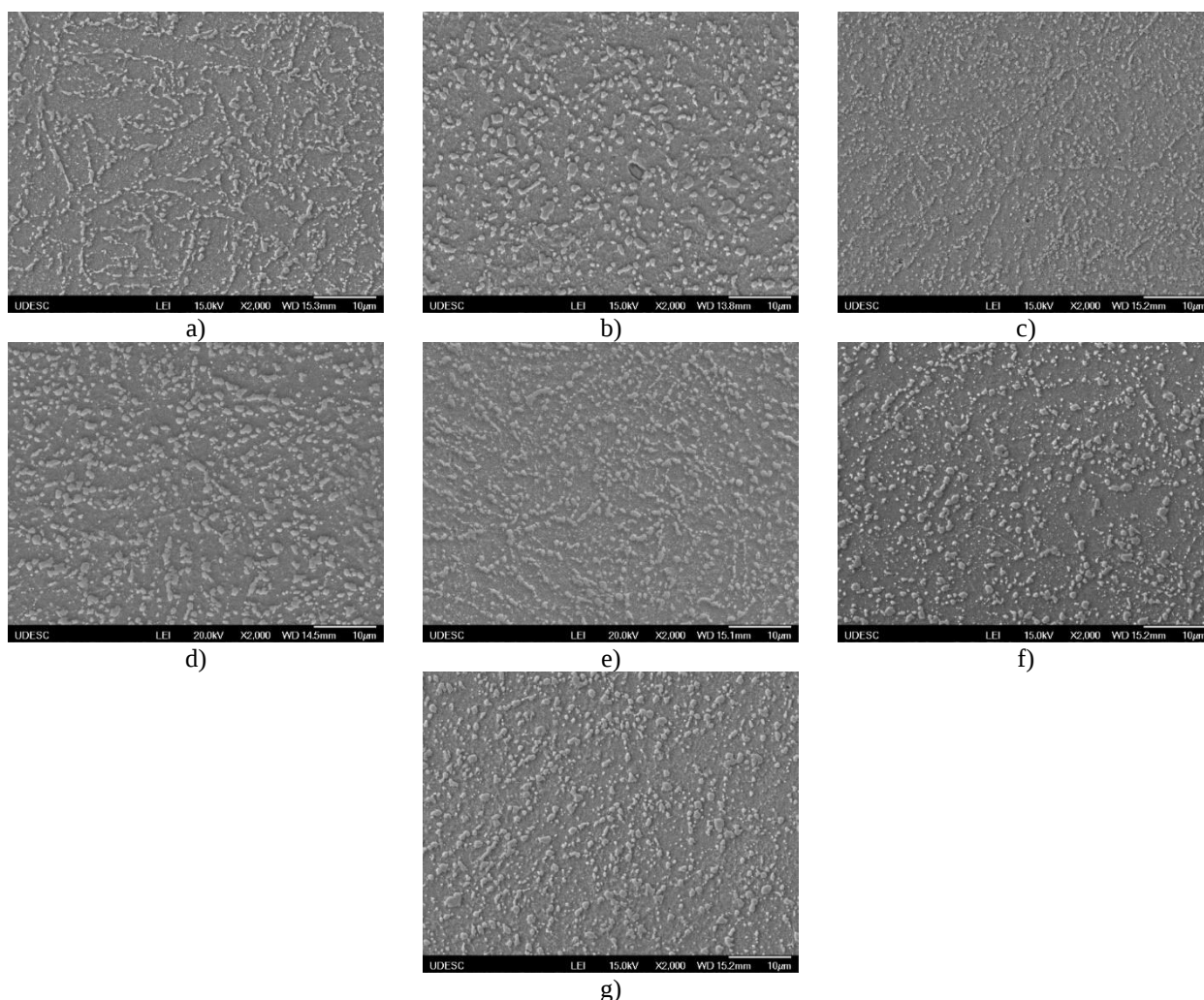


Figura 1. Microestrutura dos aços no estado fornecido evidenciando os carbonetos presentes na matriz ferrítica: a) Aço A, b) Aço B, c) Aço C, d) Aço D, e) Aço E, f) Aço F e g) Aço G. 2000X. Ataque químico: Nital 5%.

Todos os aços apresentaram tamanho médio de partículas de carbonetos de aproximadamente $1,0 \mu\text{m}$, sendo que o aço C apresentou uma dispersão de partículas mais finas. Os carbonetos presentes nos aços são do tipo MC, M_2C e M_7C_3 . As partículas maiores e em maior quantidade visíveis na microestrutura são carbonetos de cromo e ferro (M_7C_3), decorrente da maior quantidade deste elemento nos aços, de aproximadamente 5,0% p/p. Também foram identificadas partículas de MC rico em vanádio (aproximadamente $0,05\text{-}0,10 \mu\text{m}$) e de M_2C rico em molibdênio (aproximadamente $0,125\text{-}0,50 \mu\text{m}$).

A composição química de todos os aços fornecidos estavam adequados com os ensaios realizados de espectrometria de emissão óptica.

3.2. Caracterização após tratamento térmico

Os ciclos de têmpera e revenido foram realizados conforme regulamentação da NADCA 207-2018. Todos os aços apresentaram microestrutura predominantemente martensítica com dureza média de 45 HRC.

A Figura 2 apresenta as microestruturas dos aços obtidos após tratamento térmico de têmpera e revenido, observadas por microscopia óptica. Pode-se observar a formação de martensita nos aços.

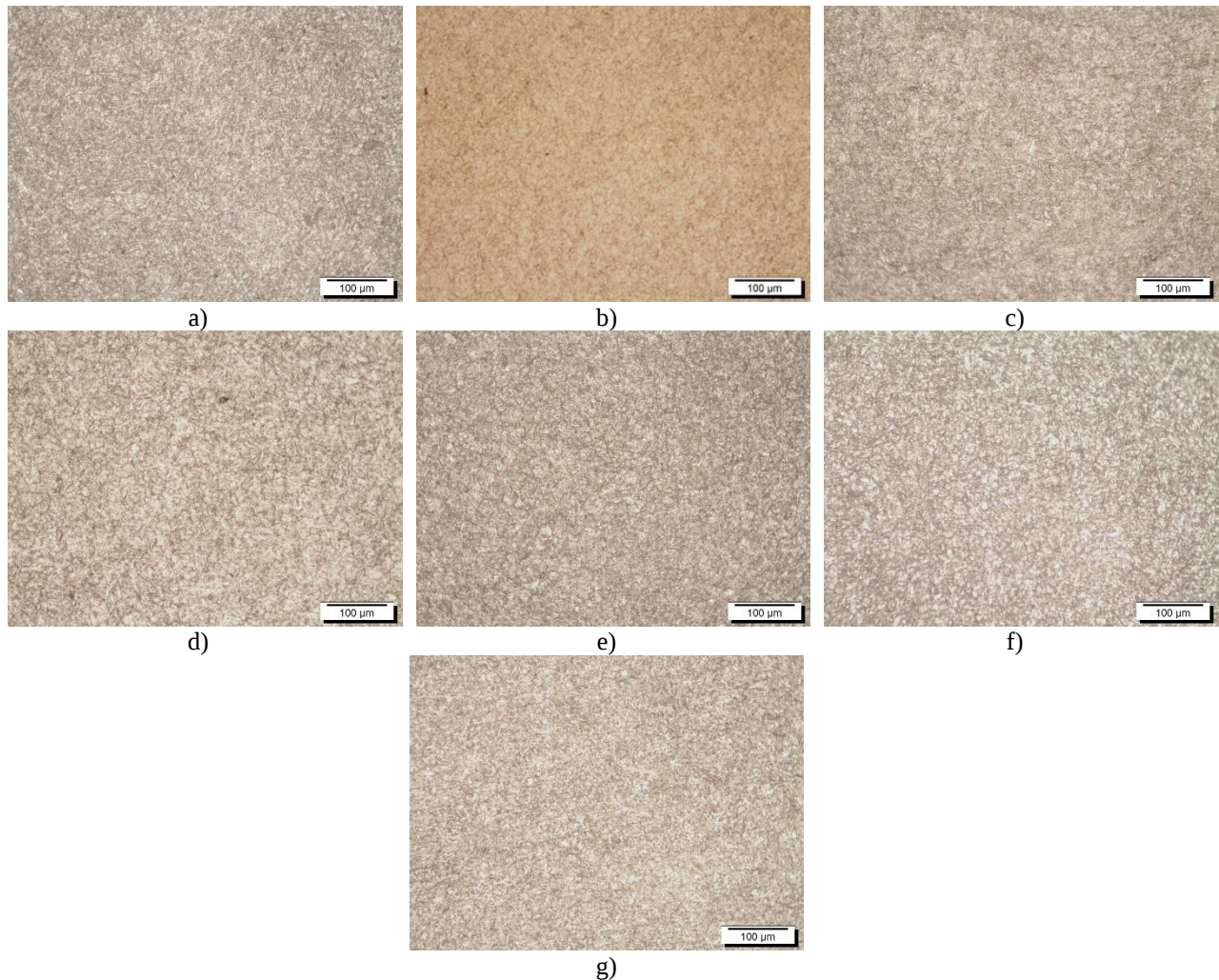


Figura 2. Microestrutura dos aços após tratamento térmico: a) Aço A, b) Aço B, c) Aço C, d) Aço D, e) Aço E, f) Aço F e g) Aço G. 200X. Ataque químico: Nital 5%.

A Figura 3 apresenta a microestrutura observada por MEV. Pode-se observar que a temperatura de autenitização empregada possibilitou a dissolução dos carbonetos primários e formação da martensita e precipitação de pequenos carbonetos secundários.

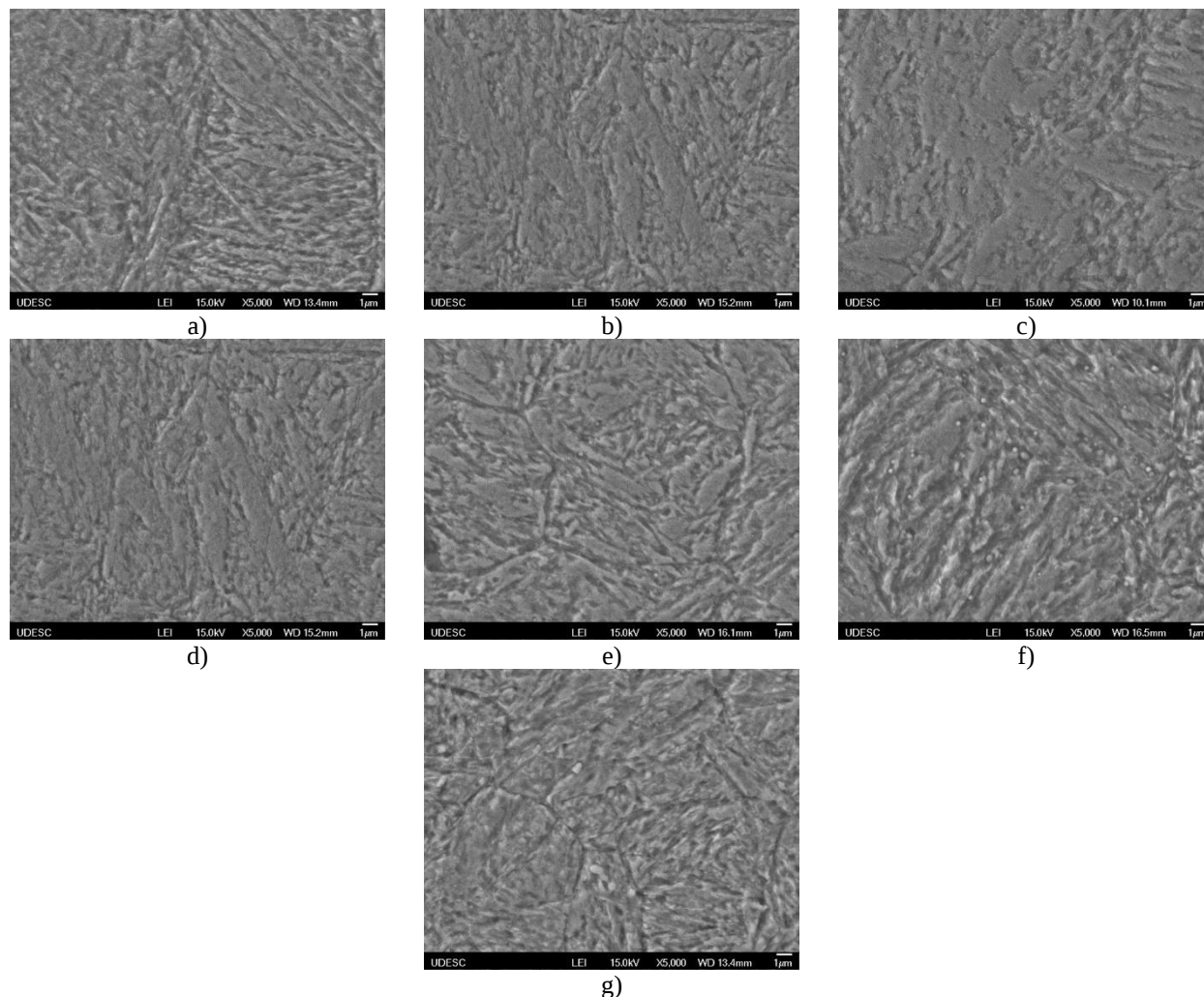


Figura 3. Microestrutura martensítica dos aços: a) Aço A, b) Aço B, c) Aço C, d) Aço D, e) Aço E, f) Aço F e g) Aço G. 5000X. Ataque químico: Nital 5%.

Diante dos resultados de caracterização microestrutural, pôde-se observar que todos os aços estudados apresentam adequada microestrutura como fornecido pela usina conforme recomendações da NADCA 207-2018, contendo mínima inclusão de óxidos ou sulfetos e finas partículas de carbonetos primários dispersos da matriz ferrítica.

As condições de têmpera e revenido utilizadas permitiram obter microestrutura martensítica e finos carbonetos secundários, obtendo-se dureza para moldes de injeção de alumínio entre 44-46 HRC.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram caracterizados sete aços para trabalho a quente com objetivo de aplicação em ferramentas para injeção do alumínio. O estudo focou na caracterização microestrutural dos aços fornecidos pela usina no estado recozido e após tratamento térmico de têmpera e revenido.

Todos os aços fornecidos no estado recozido apresentaram composição química e dureza conforme certificado técnico emitido pela usina.

A caracterização microestrutural demonstrou que todos os aços apresentaram partículas de carbonetos primários de morfologia esférica e homogeneamente dispersos na matriz ferrítica de aproximadamente 1,0 µm. Por se tratarem de aços refundidos, não foi identificado partículas grosseiras de carbonetos e inclusões.

O tratamento térmico de têmpera e três revenidos aplicados a todos os aços possibilitou obter dureza média de 45 HRC. As condições adequadas de têmpera e revenido para os grupos de aço, principalmente em relação a temperatura e tempo de austenitização (1010°C/40 minutos para os aços A, B e D; 1020°C/40 minutos para o aço E e 1030°C/40 minutos para os aços C, F e G), foram adequadas para formação da microestrutura martensítica para todos os aços e são adequadas para a aplicação ao qual se destina e para as propriedades aos quais se almeja, como maior resistência à fadiga térmica.

Neste sentido, a adequada correlação da composição química de cada aço, a microestrutura obtida no estado fornecido pela usina, a microestrutura obtida após as condições de tratamento térmico com as caracterizações das propriedades mecânicas, poderão definir o melhor aço para aplicação em moldes para injeção de alumínio.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Rota 2030 – Linha IV “Ferramentarias Brasileiras Mais Competitivas” e a Fundep, pelo apoio financeiro no projeto “Melhoria no projeto de ferramentas de injeção de alumínio”.

4. REFERÊNCIAS

- Canale, L.C.F., Mesquita, R.A. e Totten, G.E., 2008. *Failure Analysis of Heat Treated Steel Components*. ASM International.
- Ebner, R., Marsoner, S., Siller, I. e Ecker, W., 2008. Thermal fatigue behaviour of hot-work tool steels: heat check nucleation and growth. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, Vol. 3, n. 2-3, p. 182-194.
- Fuchs, K.D., 2002. Hot-work tool steels with improved properties for die-casting applications. *Proceedings of the 6th International Tooling Conference*. Karlstad, SE.
- Gonçalves, C. S., Sposito, E. V. e Haddad, P. T. R., 2018. Efeitos do tratamento térmico de têmpera e revenimento no aço ferramenta TENAX300IM. 16º. *Encontro da Cadeia de Ferramentas, moldes e matrizes*. Joinville, Brazil.
- Guillen, C. F. D., Gonçalves, C. S. e Haddad, P., 2014. Caracterização de aços para moldes e elaboração de quadro comparativo aço/propriedade/aplicação. 12º. *Encontro da Cadeia de Ferramentas, moldes e matrizes*. Joinville, Brazil.
- Klobcar, D., Tusek, J. e Taljat, B., 2007. Thermal fatigue of materials for die-casting tooling. *Materials Science and Engineering A*, Vol. 472, p. 198-207.
- Leskovsek, V., Sustarsič, B. e Jutrisa, G., 2006. The influence of austenitizing and tempering temperature on the hardness and fracture toughness of hot-worked H11 tool steel. *Journal of materials processing technology*, Vol. 178, p. 328-334.
- Mesquita, R.A. e Barbosa, C.A., 2003. Aços ferramenta de alto desempenho para matrizes de fundição sob pressão. *Metalurgia e Materiais*, Vol. 59, p. 17-22.
- Mesquita, R.A., França, L.C. e Barbosa, C.A., 2002. Desenvolvimento de um novo aço ferramenta para trabalho a quente como tenacidade otimizada. 57º. *Congresso Anual da ABM*. São Paulo, Brazil.
- Mesquita, R. A., Barbosa, C.A., Gonçalves, C.S. e Kestenbach, H.J., 2008. Aços ferramenta para trabalho a quente com baixo teor de silício: caracterização e aplicações. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, Vol. 4, p. 7-15.
- Momeni, M., Kheirandisch, S., Saghafian, H. e Hedjazi, J., 2014. Effects of heat treatment on mechanical properties of modified cast AISI D3 tool steel. *Materiais and Design*, n.54, p. 742-747.
- Morais, N.N., Correa, E.C.S., Lopes, W., Pimenta, A.A.S. e Silva, C.F., 2019. Influência da composição química e da temperatura de autenitização na microestrutura e no comportamento mecânico de aços ferramenta para trabalho a quente. 74º. *Congresso Anual da ABM*. São Paulo, Brazil.
- NADCA 207. 2018. Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies. North American Die Casting Association, Illinois.
- Persson, A., Hogmark, S. e Bergström, J., 2004. Failure modes in field-tested brass die casting dies. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 148, p. 108- 118.
- Podgornik, B., Leskovsek, F., Tehovnik, J. e Burja, J., 2015. Vacuum heat treatment optimization for improved load carrying capacity and wear properties of surface engineered hot work tool steel. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 261, p. 253-261.
- Porter, D.A., Easterling, K.E. e Sherif, M., 1992. *Phase Transformations in Metals and Alloys*. Chapman & Hall, London, 2ª edição.
- Ribeiro, J.D., 1998. *Avaliação do Aço para Trabalho a Quente H13 Propriedades Mecânicas e Fadiga Térmica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Roberts, G; Krauss, G. e Kennedy, R., 1980. *Tool Steels*. ASM, EUA, 4ª edição.
- SILVA, A. L.V.C. e MEI, P. R., 2010. *Aços e ligas especiais*. Edgard Blücher, São Paulo, 3ª edição.
- Sjöström, J. e Bergström, J., 2002. Evaluation of the cyclic behaviour during high temperature fatigue of hot work tool steels. *Proceedings of the 6th International Tooling Conference*. Karlstad, SE.
- Souki, I., Delagnes e D., Lours, P., 2011. Influence of heat treatment on the fracture toughness and crack propagation in 5% Cr martensitic steel. *Procedia Engineering*, Vol. 10, p. 631-637.
- Zhu, Y., Dchawam, D. Wallace, J.F e Birceanu, S., 2004. Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies. *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 379, p. 420-431.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF HOT WORK TOOL STEELS IN THE SUPPLIED STATE AND AFTER HEAT TREATMENT

Moisés Luiz Parucker

César Edil da Costa

Athos Henrique Plaine

Julio Milan

Douglas Novack

Rafael Fernando Sgarbossa

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina/Centro de Ciências Tecnológicas

R. Paulo Malschitzki, 200 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-710

moises_parucker@hotmail.com

Abstract. *Tool steels for hot work are used in molds and dies of forging, extrusion and die casting. In the processing of die casting in metallic molds, several phenomena occur that change the characteristics of the mold material: action of high*

pressures, high temperatures, thermal cycles and high-speed flows of molten metal, making the aluminum injection very stressful for the materials of the mold. These phenomena can result in a series of failures that lead to frequent production stops and tool maintenance, increasing production costs. Such steels also operate at temperatures that exceed 500°C and ways to increase their resistance to wear and thermal fatigue have been studied. The choice of steel and the proper heat treatment are some of the conditions to improve the useful life of these tools. In this work, the microstructural characterization of seven hot work tool steels of class AISI H11, AISI H13 and DIN 1.2367, recommended for the production of aluminum pressure injection molds, was carried out. For the characterization of the steels, a microstructural analysis was carried out as supplied and after heat treatment. For the heat treatment of the steels, quenching and tempering was performed according to the recommendations of NADCA (North American Die Casting Association) for each steel. The austenitization temperatures were between 1010 and 1030°C for 40 minutes, depending on the type of steel, followed by three tempers up to 600°C. The characterization techniques used involved optical microscopy, scanning electron microscopy, optical emission spectroscopy and Rockwell C scale hardness. The steels were supplied in the annealed state and all showed ferritic microstructure, homogeneous and equiaxed grain sizes and carbide particles homogeneously dispersed in the matrix with a size of less than 1 µm. After heat treatment, all steels showed hardness of 45 HRC and martensitic microstructure.

Keywords: *Steel for hot work; Heat treatment; microstructure.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.