

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO MÉDIO DE GRÃO NAS PROPRIEDADES DO AÇO SAE 1008

Affonso De Salva Malpica Neto, affonsomalpica@gmail.com¹
Tiago Ventura Rodrigues Lima, tiagoventura01@hotmail.com¹
Luciano Henrique de Almeida, almeidalh@gmail.com¹
Daniel de Oliveira Bazoni, dobazoni@feb.br¹
Antônio Carlos Marangoni, marangoni@feb.br¹

¹Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), Avenida Professor Roberto Frade Monte, nº 389-Barretos - SP. CEP 14.783-226. Tel (17) 3321-6411. Barretos – São Paulo - Brasil

Resumo: Um dos motivos para que o homem tenha atingido um elevado nível de civilização, foi o domínio e aperfeiçoamento das técnicas no processamento de ligas metálicas. Dentro do campo da engenharia, os aços carbono fazem parte de um grupo que apresentam fácil processamento e identificação da relação entre microestrutura e as propriedades mecânicas. O trabalho tem o objetivo de desenvolver um estudo sobre as mudanças sofridas nas propriedades de um aço SAE 1008 laminado a frio, após tratamento térmico de crescimento de grão. Amostras foram retiradas da chapa de aço SAE 1008, submetidas a tratamento térmico à temperatura de 710°C durante um período de 60, 90 e 120 minutos, e resfriadas no interior do forno até que todo o sistema alcançasse a temperatura ambiente. Com a finalidade de identificar as mudanças nas propriedades mecânicas produzidas devido a alteração de microestrutura foram realizadas análises por meio de microscopia óptica, ensaio de dureza e ensaio de tração em todas as amostras, antes e depois do tratamento térmico. Os resultados alcançados por meio da análise e ensaios permitiram concluir que os dados obtidos mostraram uma relação entre o tamanho médio de grão e as propriedades mecânicas. Ao final pode-se concluir que com o aumento do tamanho médio de grão produzido pelo tratamento térmico, houve uma diminuição em sua dureza, limite de escoamento e limite de resistência à tração, propriedades essas que podem ser desejadas em algumas aplicações.

Palavras-chave: Aço SAE 1008, Tamanho de Grão, Crescimento de Grão, Propriedades Mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do campo da engenharia os aços carbono fazem parte de um grupo que apresentam fácil processamento e estudo de suas propriedades. Devido ao aperfeiçoamento de técnicas como a fabricação mecânica e os tratamentos térmicos o aço carbono possui uma ampla área de atuação e importância no cotidiano do homem (Chiaverini, 1978).

Dependendo do local onde o aço será aplicado, deve-se realizar alguma modificação para que se obtenha as propriedades desejadas, e segundo Callister (2012), estas propriedades são muito influenciadas pelo tamanho de grão, onde quase sempre é observado uma forte relação entre tamanho de grão, dureza, resistência e ductilidade. O motivo para que se realize uma modificação nas propriedades através do tamanho de grãos ao invés de outras possibilidades, como por exemplo uma adição de elementos de liga, é que nesse caso em específico, isso aumenta o custo de produção e dificulta a reciclabilidade do aço.

Para que se tenha uma confirmação de que o material e o tratamento térmico produziram as modificações desejadas é necessário examinar a estrutura e os defeitos que possam influenciar nessas modificações das propriedades desejadas. Uma das formas de examinar as modificações produzidas consiste em relacionar o tamanho médio de grão com as propriedades mecânicas destes materiais, sendo comumente utilizado para esse fim é a microscopia, que amplia as características da microestrutura e as registra através da fotomicrografia. Através desse exame é possível determinar o tamanho do grão de qualquer material em termos do volume, área ou o diâmetro médio (Callister, 2012).

Segundo Callister (2012) um tratamento térmico tem a finalidade de devolver algumas propriedades ao material, podendo até retornar ao estado inicial, aquele antes de sofrer qualquer deformação a frio. O material é submetido a condições controladas de temperatura, tempo de permanência dentro do forno e resfriamento, podendo ser dividido em três etapas, sendo elas a recuperação, recristalização seguida pelo crescimento de grão. Durante a recuperação pode-se observar a redução no número de discordâncias e com isso uma melhora na condutividade térmica e elétrica, já na recristalização observa-se uma diminuição considerável na densidade das discordâncias, contudo a maior virtude desta etapa é a devolução da ductilidade, resultando em uma redução da dureza e da resistência a tração. Após a conclusão da recristalização, se o material permanecer no forno sob uma temperatura elevada aparecerá o fenômeno chamado crescimento de grão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Algumas propriedades mecânicas dos metais são influenciadas pelo tamanho do grão e também observa-se a relação entre o tamanho do grão, dureza, resistência mecânica e ductilidade. Quanto menor o tamanho de grão, maior será a área de contornos do grão no interior do material, pois o aumento na concentração dos contornos de grão cria uma resistência nos deslocamentos das discordâncias, provocando um aumento na resistência mecânica e dureza, já em relação a ductilidade ocorre uma diminuição, já que a capacidade de um material se deforma está relacionada com a habilidade das discordâncias se moverem (Callister, 2012).

A adição de elementos de ligas para se obter ganho de resistência mecânica é um dos fatores que contribui para um aumento no custo final e também dificulta a reciclabilidade do aço. Segundo Senuma (2001), trabalhos recentes realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisa do Japão, buscaram aumentar a resistência dos aços através do refino de grão. O refino de um grão de 10µm para 1µm, pode até dobrar a resistência dos aços, sem a necessidade de uma alteração da composição química, além de ser um mecanismo onde se traz também um ganho em tenacidade.

A equação de Hall-Petch é uma equação empírica, que relaciona a tensão de escoamento e o diâmetro médio de grão do seguinte modo:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2} \quad (1)$$

Sendo que σ_y é a tensão de escoamento do material, d é o diâmetro médio de grão e σ_0 e k são constantes para cada material específico. A equação de Hall-Petch deixa visivelmente que a tensão aumenta quando se diminui o diâmetro médio de grão. É importante deixar claro que a equação não é válida para materiais policristalino com granulação extremamente grosseiras ou muito finas. Também deve ser mencionado que a alteração no tamanho de grão não altera somente a resistência, mas também a tenacidade (Callister, 2012), (Smith, 2012).

Um dos métodos mais utilizados para que se possa observar e analisar a microestrutura de qualquer material é a micrografia óptica, onde existem alguns passos a serem seguidos. Primeiramente deve-se escolher a superfície de trabalho e realizar um tratamento com lixas abrasivas sucessivamente mais finas e posteriormente um polimento. Logo em seguida realizar um ataque químico com reagentes apropriados, assim, esse tratamento superficial revelará a microestrutura, a qual poderá ser observada e fotografada como auxílio do microscópio óptico (Callister, 2012).

O tamanho médio de grão foi determinado utilizando o método desenvolvido pela ASTM. Consiste em utilizar diversos quadros comparativos padronizados, onde em todos contém diferentes tamanhos médios de grãos. Para cada quadro é dado um valor que varia de 1 a 10, sendo que esse é o número de tamanho do grão. A realização dessa análise se faz através da preparação da amostra para que seja revelada a estrutura do grão, para posteriormente ser fotografada a uma ampliação de 100X. O tamanho do grão da micrografia é relacionado com a do quadro e assim expresso em termo do número do quadro comparativo. A relação do número do tamanho de grão ASTM e o número de grão por polegada quadrada, sob uma ampliação de 100X, está relacionada pela Equação (2) (Callister, 2012).

$$N = 2^{n-1} \quad (2)$$

Onde N é o número de grão por polegada quadrada e n é o número do tamanho de grão ASTM.

2.1. Ensaio de tração

O ensaio de tração é realizado através da aplicação de uma carga de tração uniaxial, em um corpo de prova com geometria definida até o seu rompimento. Esse ensaio é amplamente utilizado, principalmente pela indústria de materiais mecânicos. Dentre os principais dados possíveis de se obter com esse ensaio estão o limite de resistência à tração, limite de escoamento, módulo de elasticidade, módulo de resiliência, módulo de tenacidade, coeficiente de encruamento, coeficiente de resistência e ductilidade (Callister, 2012), (Garcia, 2012).

A ABNT normatizou a preparação dos corpos de prova materiais metálicos a temperatura ambiente na norma NBR ISO 6892:2002, que consiste na aplicação gradual de uma carga uniaxial que cresce nas extremidades do corpo padronizado. Mensura-se a variação do comprimento como função da carga aplicada e a partir dos dados, levanta-se a curva de tensão pela deformação, ou seja, a tensão de tração exercida nas extremidades do corpo de prova pela deformação sofrida pelo mesmo (Garcia, 2012).

2.2. Ensaio de dureza

O ensaio de dureza é realizado com o auxílio de um penetrador padronizado, que quando pressionado sobre a superfície do corpo de prova produz um risco ou marca permanente na superfície do mesmo. A medida de dureza é função da marca de impressão e da carga aplicada durante o ensaio (Callister, 2012), (Garcia, 2012).

Um dos métodos mais aplicado é o de dureza por penetração, que utiliza penetrador com formato padronizado e em alguns casos utiliza uma pré-carga que é pressionado sob a superfície da amostra, causando primeiramente uma deformação elástica e em seguida uma deformação plástica. A dureza de um material é representada por um valor numérico que está correlacionado com a profundidade ou com a área da marca superficial, sendo o mesmo, baseado na tensão que o penetrador precisa para superar a resistência da superfície do material. (Callister, 2012)

Segundo Garcia (2012), a dureza de um material depende das forças de ligação entre os átomos, íons, moléculas e do escorregamento de planos atômicos. Os sólidos metálicos e iônicos possuem forças de ligação de natureza mais intensa, resultando em materiais mais duros.

3. METODOLOGIA

Foram confeccionadas amostras do aço SAE 1008 onde algumas foram tratadas termicamente variando o tempo, e posteriormente foram analisadas suas características finais através da metalografia, ensaio de dureza e tração, a figura 1 apresenta o fluxograma de processamento e análises dos corpos de prova.

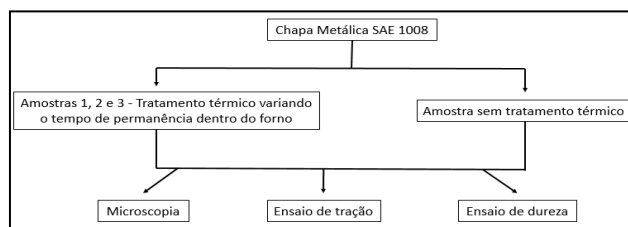


Figura 1 – Fluxograma indicando as atividades a serem realizadas.

Foram confeccionados 12 corpos de prova a partir de uma chapa de aço SAE 1008, com aproximadamente 140 mm de comprimento. Os corpos de prova foram separados em 4 grupos destinados aos tratamentos térmicos propostos. A chapa possui uma seção transversal de 1,2 mm x 20 mm, medida esta, que já está dentro da norma NBR 06152 para a fabricação dos corpos de prova para ensaios de tração.

3.1. Tratamento térmico para crescimento do grão

O forno tipo mufla foi ligado por aproximadamente uma hora de antecedência para que a temperatura ajustada (710°C) fosse estabilizada. Foram levadas ao forno nove peças em três etapas diferentes, $T_0 + 60$ minutos, $T_0 + 90$ minutos e $T_0 + 120$ minutos, onde o T_0 é o momento em que o forno foi ligado. Logo após, as amostras foram sendo colocadas no seu interior, sendo que a temperatura foi constantemente controlada pelo termostato do mesmo. A primeira amostra a ser introduzida foi a amostra 1, sendo que logo após 30 minutos foi colocado a amostra 2 e depois de mais 30 minutos foi inserido a amostra 3. Por fim depois de 60 minutos o forno foi desligado, porém, para que o tratamento térmico fosse completo, todas as amostras foram mantidas no seu interior até o resfriamento total.

As amostras no estado como recebido, ou seja, antes de serem submetidas ao tratamento, serão tomadas como critério de comparação da efetividade dos tratamentos térmicos e das alterações por eles causadas.

3.2. Análise microestrutural

A microscopia foi realizada com o auxílio de um microscópio óptico de reflexão, onde em sua mesa foi colocada a peça embutida com resina acrílica, ampliando-a 100X e posteriormente retirou-se uma fotografia da microestrutura. O tamanho de grão da micrografia foi comparado com o quadro comparativo da norma ASTM E 112, assim determinou-se o tamanho médio de grão.

3.3. Ensaios de dureza e tração

O ensaio de dureza foi realizado 25 vezes em uma mesma peça, sendo que, 5 das medidas mais discrepantes foram descartadas, a fim de obter uma variabilidade menor dos resultados obtidos. Nesses ensaios foi utilizado um durômetro de bancada Digimess no padrão de dureza Rockwell B (HRB). Por sua vez o ensaio de tração foi feito apenas uma vez por peça, três para cada amostra, fazendo uso de uma máquina universal para ensaios mecânicos do modelo EMIC 23-100.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Micrografia

Foram selecionados corpos de prova nas condições de tratado e não tratado termicamente para realização dos ensaios micrográficos. Removeram-se amostras em seções longitudinais e transversais, apresentadas respectivamente nas figuras 2(a) e (b). Pode-se observar na fig. 2 (a) que os grãos possuem uma uniformidade em tamanho e orientação, porém na fig. 2 (b) os grãos estão alongados devido ao trabalho mecânico realizado a frio durante seu processo de fabricação, este por sua vez, torna o aço SAE 1008 mais duro devido ao encruamento. A chapa pré-tratamento térmico possui matriz ferrítica com grão ferrítico tamanho 8.

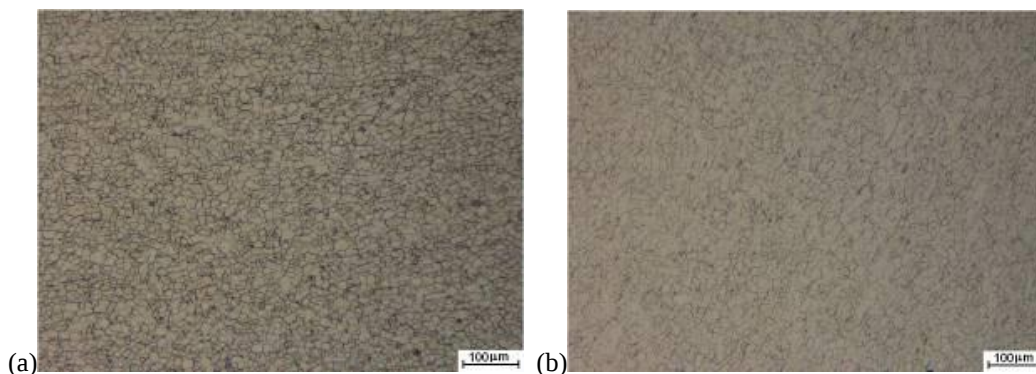


Figura 2 - Micrografia da chapa pré-tratamento térmico (a) corte transversal e (b) corte longitudinal.

A figura 3 apresenta a micrografia da amostra submetida a 710°C por 60 minutos.

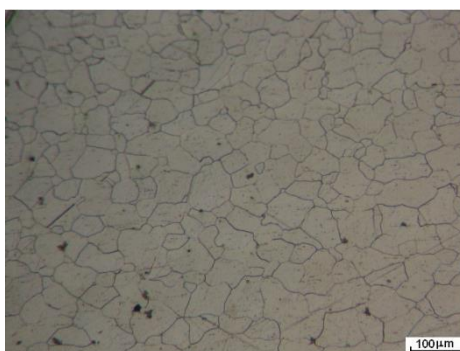


Figura 3 – Micrografia da amostra submetida a 710°C por 60 minutos.

Verificou-se, para um tempo de permanência no interior do forno de 60 minutos, que os grãos ferríticos iniciaram o processo de crescimento. Isso pode ser confirmado pela alteração do tamanho de grão 8 para 5, conforme critério ASTM. Como consequência, há diminuição considerável da área específica de contorno de grão, facilitando a movimentação de discordâncias.

A figura 4 apresenta micrografia da amostra submetida a 710°C por 90 minutos.

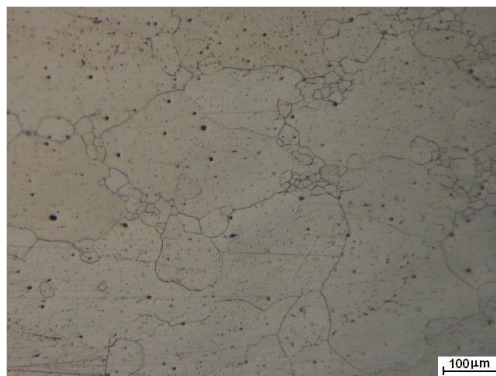


Figura 4 – Micrografia da amostra submetida a 710 °C por 90 minutos.

Mediante um tempo de tratamento térmico de 60 minutos houve aumento do tamanho de grão. Assim, espera-se que o aumento do tempo de tratamento térmico torne esse fenômeno ainda mais proeminente. Esse fenômeno pôde ser confirmado ao se aumentar o tempo de tratamento de 60 minutos para 90 minutos. Isso porque, conforme apresentado na fig. 4, houve alteração do padrão de tamanho de grão de 5 para 3.

Na figura 5, é apresentada a micrografia da amostra submetida a 710°C por 120 minutos.



Figura 5 – Micrografia da amostra submetida a 710°C por 120 minutos

O fenômeno de aumento do tamanho de grão mediante aumento do tempo de tratamento térmico foi novamente constatado quando se utilizou um tempo de permanência no forno de 120 minutos. Conforme micrografia apresentada na fig. 5, o padrão de tamanho de grão passou de 3 para 2, segundo critério ASTM.

4.2. Ensaio de dureza

As medidas obtidas durante a análise das chapas sem tratamento térmico foram inseridas na tabela 1, assim como a sua média, o valor de máximo e mínimo e a mediana. Assim como citado anteriormente, essa alta dureza é devida ao trabalho mecânico a frio durante o processo de fabricação das chapas.

Tabela 1 - Dados da amostra sem tratamento térmico.

Ensaio Dureza (HRB)	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3
1	49,5	52,5	52
2	51,5	53	51
3	45	53,5	53
4	49	53	51,5
5	50	53	51
6	53,5	52	51
7	53,5	53	52
8	48	52	52
9	52,5	53	51
10	50	53	52,5
11	49	53	50
12	50	53	52
13	53	53,5	52
14	51	53	51
15	46,5	53	52
16	53,5	54	51
17	50	55	52
18	49	53,5	51
19	51,5	53	51
20	52	54	51
Média	50,4	53,2	51,5
Máximo	53,5	55	53
Mínimo	45	52	50
Mediana Das Médias		51,5	

A tabela 2 apresenta as medidas de dureza efetuadas nos corpos de prova após os tratamentos térmicos. Estes dados foram coletados em diferentes partes das chapas, e como pode ser observado, os resultados obtiveram uma grande amplitude. Porém com a ajuda da micrografia, conclui-se que tal acontecimento deve-se ao fato do aumento não uniforme dos grãos, podendo coincidir com a análise de dureza naquele ponto. Nota-se que quanto mais os grãos cresciam em tamanho suas durezas médias diminuía.

Para melhor visualização da relação entre o tamanho médio de grão e as medidas de dureza, foi confeccionado um gráfico da dureza em função do tempo de tratamento térmico, a figura 6 apresenta essa relação.

Conforme dados apresentados na fig. 6, pode-se notar uma tendência de queda nos valores médios de dureza quando se aumenta o tempo de tratamento térmico. A relação entre esses parâmetros (dureza e tempo de tratamento térmico) é linear e inversamente proporcional. Isso ocorre porque há aumento do tamanho médio de grão, o que gera aumento da mobilidade das discordâncias. Como consequência, o encruamento se torna menos pronunciado, o que leva à diminuição dos valores de dureza do material.

Tabela 2 – Dureza medida nas amostras após o tratamento térmico.

Ensaio Dureza (HRB)	Amostra 1			Amostra 2			Amostra 3		
	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3
1	22,5	19	22	29	29	21	39	41	43
2	23	19	21	24	25	28	41	39	43
3	20	23	23	25	27	24	21	41	45
4	23	21	22	28	23	27	43	45	44
5	19	20	21	28,5	26	25	40	40	24
6	21	22,5	23	25	25	28	29	44	42
7	21	20	20,5	24	24	25	40	21	44
8	14	22	21	27	28	28	42	40	40
9	19	23,5	20,5	28	24	28	22	40	43
10	21	25	22	29	26	27	41	43	37
11	40	23	20,5	27	27	24	43	23	46
12	39	21	25	24	23	21	40	42	41
13	31	39	21	28	24	28,5	23	43	38
14	19,5	15	39,5	27	28	23,5	42	35	22
15	20	21,5	23	28	24	25	21	37	44
16	20	21,5	41	24	28	26	42	40	43
17	16	22	22	25	25	22	22	42	39
18	38,5	40	20,5	26	24	28	44	43	41
19	21,5	23	29	20	26	27	41	29	26
20	22	18,5	21	20	27	25	42	40	43
Média	23,6	23,0	23,9	25,8	25,7	25,6	35,9	38,4	39,4
Máximo	40	40	41	29	29	28,5	44	45	46
Mínimo	14	15	20,5	20	23	21	21	21	22
Mediana Das Médias	23,6			25,7			38,4		

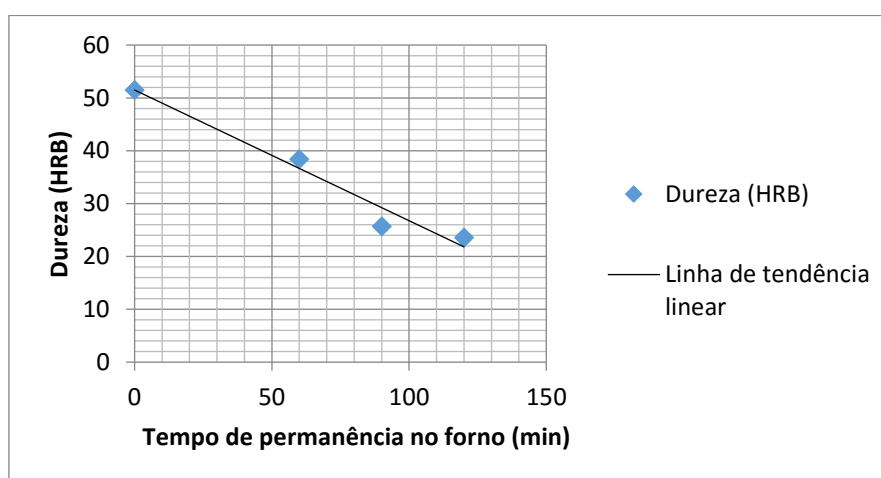


Figura 6 – Gráfico ilustrando a queda da dureza com o aumento do tempo.

4.3. Ensaio de tração

Por se tratar de um ensaio destrutivo, o ensaio de tração foi realizado após os outros testes necessários. Foi realizado em todos os corpos de prova de todas as amostras, afim de obter uma média do limite de escoamento e do limite de resistência à tração de cada amostra, a tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de tração.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de tração da amostra sem tratamento térmico.

Chapas	LE (MPa)	LRT (MPa)
1	305	324
2	270	352
3	270	360
Média	282	345

A fig. 7, apresenta os gráficos de tensão x deformação até o rompimento das chapas antes do tratamento térmico.

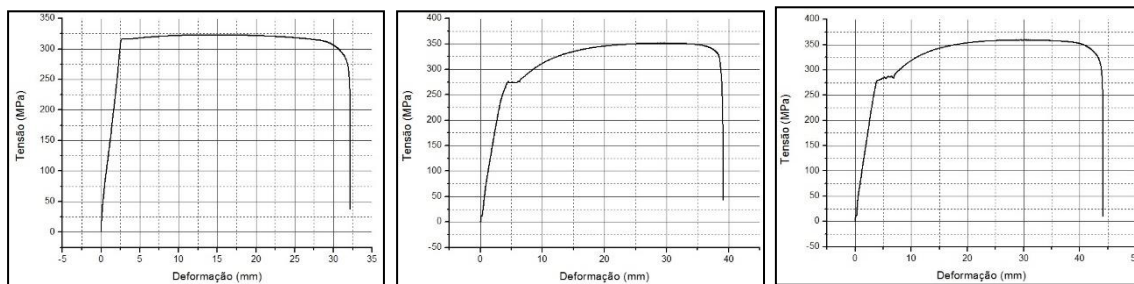


Figura 7 – Gráficos tensão x deformação de engenharia do grupo de amostras sem tratamento.

A tabela 4 e os gráficos apresentados na figura 8 são referentes as chapas que foram submetidas a 710°C por 60 minutos, realizando assim o tratamento proposto a essa amostra.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de tração da amostra após 60 minutos de tratamento térmico.

Chapas	LE (MPa)	LRT (MPa)
1	230	307
2	245	311
3	240	312
Média	238	310

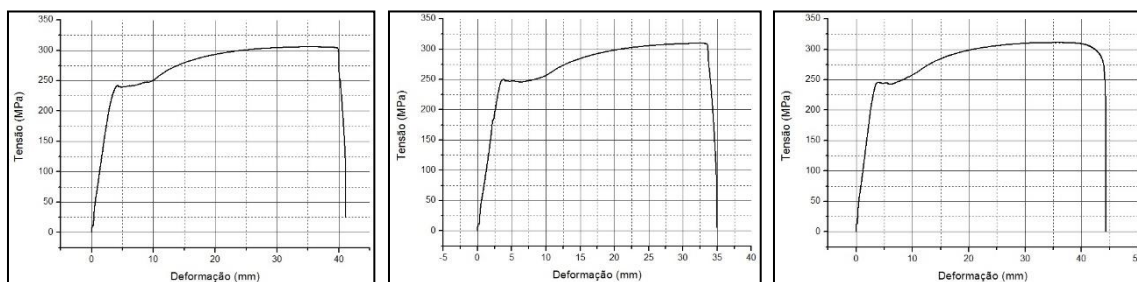


Figura 8 – Gráficos tensão x deformação de engenharia do grupo de amostras após 60 minutos de tratamento térmico.

Analisando os dados médios da tab. 4 e comparando com os resultados da amostra sem tratamento térmico (tab. 3), pode-se dizer que houve uma queda de aproximadamente 10% no limite de resistência à tração e de 16% no limite de escoamento.

A tabela 5 e os gráficos apresentados na figura 9 referem-se aos corpos de prova submetidos a 710°C por 90 minutos, sendo a amostra 2.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de tração do grupo de amostras após 90 minutos de tratamento térmico.

Chapas	LE (MPa)	LRT (MPa)
1	200	286
2	205	291
3	195	285
Média	200	287

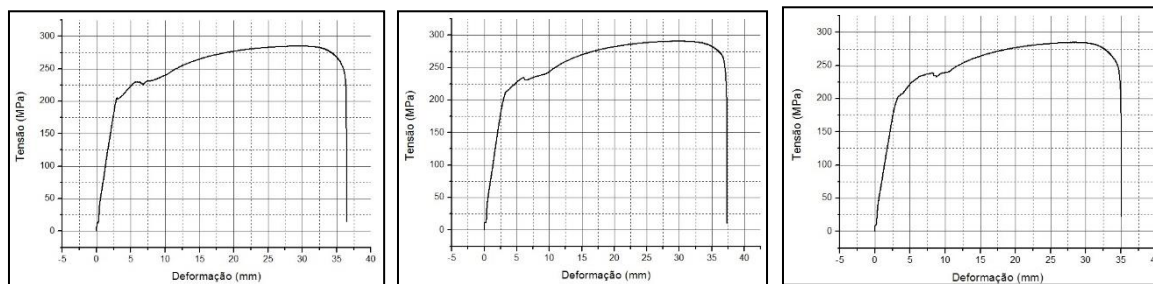


Figura 9 – Gráficos tensão x deformação de engenharia da chapa 1 após 90 minutos de tratamento térmico.

Comparando esse grupo de amostras com o anterior pode-se concluir que houve uma redução de aproximadamente 7% no limite de resistência a tração e de 16% no limite de escoamento, porém comparando com o grupo de amostras sem tratamento térmico, houve uma queda de 17% no limite de resistência à tração e de 29% no limite de escoamento.

A tabela 6 e os gráficos apresentados na figura 10 são referentes aos corpos de prova que foram submetidos a 710°C por 120 minutos, ou seja, o grupo de amostras 1.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de tração da amostra após 120 minutos de tratamento térmico.

Chapas	LE (Mpa)	LRT (Mpa)
1	150	262
2	160	262
3	150	262
Média	153	262

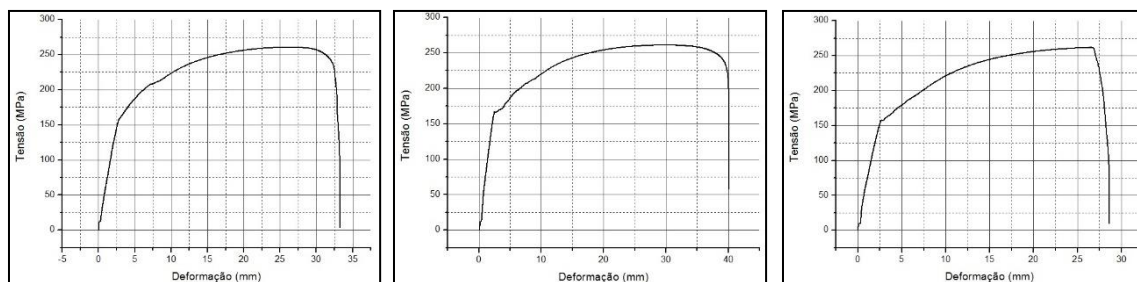


Figura 10 – Gráficos tensão x deformação de engenharia da chapa 2 após 120 minutos de tratamento térmico

Por fim, no grupo de amostras que ficou mais tempo submetida ao tratamento térmico, houve uma redução aproximada no limite de resistência à tração de 3% comparada com o grupo de amostras anterior, 9% com o grupo de amostras 3 e 18% em relação ao grupo de amostras sem tratamento térmico, já no limite de escoamento foi de 23% comparando com o grupo de amostras anterior, 34% com o grupo de amostras 3 e 43% em relação ao grupo de amostras sem tratamento térmico.

As propriedades mecânicas como limite de escoamento e limite de resistência à tração foram influenciadas pelo tamanho de grão, conforme previa a equação de Hall-Petch (Equação 1). Essa influência está demonstrada nos gráficos das figuras 11 e 12, sendo que as propriedades mecânicas foram relacionadas com o inverso da raiz quadrada do diâmetro médio de grão, onde os mesmos apresentaram uma tendência linear.

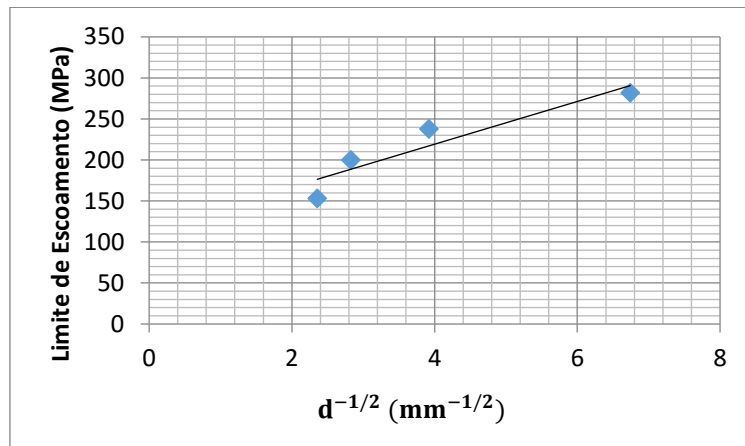


Figura 11 – Influência do tamanho de grão no limite de escoamento.

Como pode ser observado no gráfico da fig. 11, o limite de escoamento tem boa sensibilidade a variação do diâmetro médio de grão, e essa sensibilidade está relacionada com a dificuldade das discordâncias em se moverem. Observa-se também que conforme os grãos foram crescendo, a área total de contorno de grão foi diminuindo, facilitando assim o movimento das discordâncias. Foi possível extrair a equação da reta com um R^2 de 0,8691, ou seja, com uma confiabilidade de 86,91%, sendo que a equação da reta está exemplificada na Eq. (3).

$$LE = 115,06 + 26,042d^{-1/2} \quad (3)$$

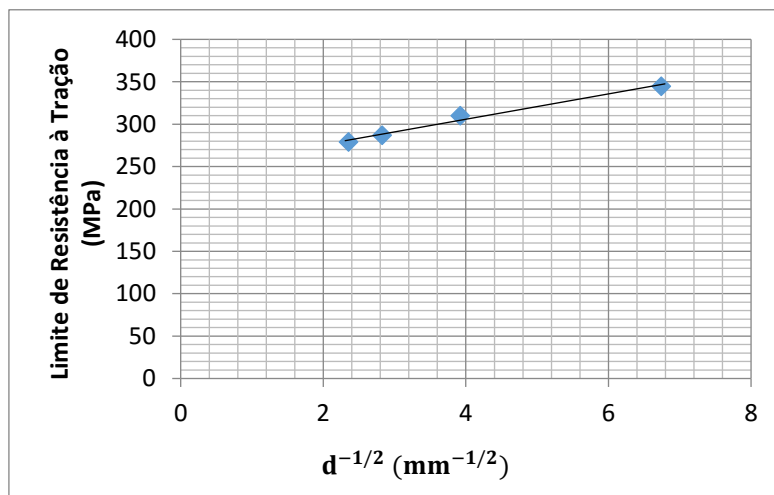


Figura 12 – Influência do tamanho de grão no limite de resistência à tração.

O gráfico da figura 12, apresenta uma sensibilidade do limite de resistência à tração e uma variação do diâmetro médio de grão menor do que a apresentada no limite de escoamento. Esta variação do diâmetro médio de grão ocasionou uma diminuição de aproximadamente 18% no limite de resistência à tração, porém no limite de escoamento essa diminuição foi de 43%. A Equação (4) demonstra a equação da reta com um R^2 de 0,9853, resultando em uma confiabilidade de 98,53% para a equação.

$$LRT = 246,06 + 14,937d^{-1/2} \quad (4)$$

5. CONCLUSÃO

Se correlacionarmos os resultados obtidos nos três ensaios analisados (microscopia, dureza e tração), podemos concluir que eles possuem uma linha de tendência, onde podem ser obtidos novos dados de limite de resistência à tração (LRT), limite de escoamento (LE) e dureza (HRB), relacionando-os com o tamanho médio de grão. Conforme a teoria havia previsto, as propriedades mecânicas de LE, LRT e dureza diminuiram conforme o tamanho dos grãos cresceram, isso resultou em uma diminuição da área de contorno de grão, proporcionando uma maior facilidade das discordâncias se moverem. Como a deformação plástica de um material está relacionada com a capacidade das discordâncias se moverem, as propriedades mecânicas analisadas só poderiam reduzir, já que as restrições para o movimento das discordâncias diminuiram.

6. REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM); ASTM E 165-02: “Metals Test Methods and Analytical Procedures”, 2004. V.03.03.
- BAPTÍSTA, A., Et. Al., “Ensaio Metalográfico no Controle de Qualidade”, Disponível em: <http://www.spectru.com.br/ensaio_metal.pdf> Acesso em: 05 de outubro 2015
- CALLISTER, W. D. JR.; RETHWISCH, D. G. “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livro Técnicos e Científicos, 2012.
- CHIAVERINI, V. “Aços e Ferros Fundidos”, 7ª Edição ampliada e revista. São Paulo: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012.
- CHIAVERINI, V. “Tecnologia Mecânica 2”, Edição Vol. 3 - São Paulo: Mcgraw-Hill, 1978.
- COLPAERT, H. “Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns”, 2ª Edição. São Paulo: Edgard Bluchen, 1965.
- GARCIA, A., Et. Al., “Ensaio dos Materiais”, 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livro Técnicos e Científicos, 2012.
- GOODMAN, S. R. Metallurgy of High Strength Cold-Rolled Steel Sheets. In: International Conference on Technology and Applications of HSLA Steels, 1983, “Philadelphia HSLA Steels Technology and Applications”, Ohio: ASM, 1984. P.239-252.
- Catalogo Arcelormittal – “Guia do aço” - 03.2013 Disponível em: <<http://www.arcelormittal.com.br>>. Acesso em: 19 de abril 2015.
- PANOSSIAN, Z. “Corrosão e Proteção Contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas”, São Paulo: Institutos de Pesquisas Tecnológicas (IPT), volume 2, 1993. 356p.
- REED-HILL, R. E. ABBASCHIAN, R.” *Physical Metallurgy Principles*”. Boston: publishing company, 1992, 926p.
- SENUMA, T. “Physical Metallurgy of Modern High Strength Steel Sheets”, ISIJ International, v.41, n.6, p.520-532, 2001.
- SHACKELFORD, J. F. “Ciência dos Materiais”, 6ª Edição. São Paulo: Pearson Education Brasil, 2008.
- VAN VLACK, L. H. “Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais”, Rio de Janeiro: Campus. 1970.
- VAN VLACK, L. H. “Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais”, Rio de Janeiro: Campus. 1984.
- VAN VLACK, L. H. “Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais”, Rio de Janeiro: Campus. 1994.
- SMITH W. F.; HASHEMI J. “Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais”, 5ª edição. Porto Alegre – RS: AMGH Editora Ltda, 2012.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE AVERAGE GRAIN SIZE INFLUENCE ON SAE 1008 STEEL PROPERTIES

Affonso De Salva Malpica Neto, affonsomalpica@gmail.com¹

Tiago Ventura Rodrigues Lima, tiagoventura01@hotmail.com¹

Luciano Henrique de Almeida, almeidalh@gmail.com¹

Daniel de Oliveira Bazoni, dobazoni@feb.br¹

Antônio Carlos Marangoni, marangoni@feb.br¹

¹Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), Avenida Professor Roberto Frade Monte, nº 389-Barretos - SP. CEP 14.783-226. Tel (17) 3321-6411. Barretos – São Paulo - Brasil

Abstract: The reasons for that man has achieved a high level of civilization, was the domain and improving techniques in the processing of metal alloys. Within the field of engineering carbon steels are part of a group that have easy processing and identification of the relationship between microstructure and mechanical properties. The work aims to develop a study about the changes undergone by the SAE 1008 steel properties cold rolled and after a heat treatment of grain growth, which according to theory, it would have a growth in the grains microstructure, altering its mechanical characteristics. Samples were taken from SAE 1008 steel sheet, subjected to a temperature of 710 ° C for a period of 60, 90 and 120 minutes and then cooled inside the oven until all the system reached ambient temperature. Analysis was performed by an optical microscope, hardness test and tensile test in all the samples, before and after the heat treatment. The results achieved through the analysis and tests showed that the data were in agreement with the theory, although some details have been observed with the development of the practice during this work. At the end, it may be concluded that as more the microstructure grains increased in size it was obtained a decrease in hardness, yield strength and tensile yield strength, and such properties may be desired in some other applications.

Keywords: SAE 1008 steel, Grain size, Grain growth, Mechanical properties.