

N. CLASS. M 620.1
CUTTER M53 8†
ANO/EDIÇÃO 2014

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
NAIHON PEREIRA MENDES

**TESTE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE CHAPA DE AÇO ASTM A-36: ensaios
com e sem tratamento térmico por alívio de tensão**

Varginha
2014

NAIHON PEREIRA MENDES

**TESTE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE CHAPA DE AÇO ASTM A-36: ensaios
com e sem tratamento térmico por alívio de tensão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Fabiano Farias de Oliveira.

**Varginha
2014**

NAIHON PEREIRA MENDES

**TESTE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE CHAPA DE AÇO ASTM A-36: ensaios
com e sem tratamento térmico por alívio de tensão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Hugo Rodrigues Vieira

Prof. Adilene Maria Soares Tirelli

Prof. Fabiano Farias de Oliveira

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a minha família, meus amigos, ao professor Fabiano Farias e a todos que ajudaram na construção deste trabalho. Dedico a todos aqueles que contribuíram para sua realização.

“Abrir mão do bom para conquistar o ainda melhor é mais que uma questão mecânica ou lógica, somos humanos, há muita emoção e sangue envolvidos em nossas escolhas, muito mais do que pensamos.”

Marcelo Koslowski

RESUMO

Este trabalho expõe um comparativo sobre o limite de resistência à tração entre chapas soldadas de aço carbono ASTM A-36 tratadas termicamente por alívio de tensão, e chapas do mesmo material sem tratamento térmico. A fim de garantir a veracidade dos resultados, foi usado o método prático para análise de resistência à tração das chapas - o ensaio de tração, que consiste em submeter o material a um esforço de tração axial até a ruptura. Considerando por ser um material tratado e outro não, as cargas suportadas variaram minimamente entre si, obtendo assim um resultado onde o corpo de prova que foi realizado o alívio de tensão suportou uma carga ligeiramente menor que o material não tratado. O alívio de tensão é indicado mesmo quando peças de material ASTM A-36 forem submetidas a esforços de tração. O tratamento é viável, pois além de rearranjar as discordâncias causadas por soldas ou conformações, também não prejudica a resistência do material quando submetido a esforços de tração.

Palavras-chave: Resistência à tração. Alívio de tensão. Ensaio de tração. ASTM A-36

ABSTRACT

This paper presents a comparative on the boundary between tensile strength carbon steel plates welded ASTM A-36 heat treated for stress relief, and plates of the same material without heat treatment. To ensure the accuracy of the results, we used the practical method for analysis of tensile plates - the tensile test, which involves subjecting the material to an axial tensile stress at break. Whereas being a treated material and another not supported loads varied minimally between them, thus obtaining an outcome where the body of evidence that stress relief was carried endured a slightly lower load than the untreated material. The strain relief is indicated even when pieces of material ASTM A-36 are subjected to tensile stresses. The treatment is feasible, as well as rearrange the dislocations caused by welds or conformations, does not affect the strength of the material when subjected to tensile stresses.

Keywords: *Tensile strength. Stress Relief. Tensile test. ASTM A-36.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Chapa de aço carbono ASTM A36	10
Figura 02 – Formatos de corpo de prova.....	11
Figura 03 – Padrão ASME IX para construção de corpo de prova soldado.....	12
Figura 04 – Croqui para corte e soldagem das peças	13
Figura 05 – Croqui do corpo de prova utilizado.....	13
Figura 06 – Chapa chanfrada e pronta para soldagem.....	14
Figura 07 – Soldagem concluída	15
Figura 08 – Chapa empenada	16
Figura 09 – Chapa desempenada e livre de rebarbas.....	16
Figura 10 – Usinagem do corpo de prova concluída	16
Figura 11 – Máquina de tração utilizada	17
Figura 12 – Diagrama de transformação do aço Fe-C.....	18
Figura 13 – Forno elétrico UNIS/MG	19
Figura 14 – Identificação do “número P” e “número de grupo” do aço ASTM A-36	20
Figura 15 – Identificação dos parâmetros para execução do alívio de tensão.....	20
Figura 16 – Corpos de prova após tratamento térmico.....	21
Figura 17 – Fixação do corpo de prova	22
Figura 18 – CP-01 rompido e com dimensão de alongamento.....	23
Figura 19 – CP-02 rompido e com dimensão de alongamento.....	24
Figura 20 – Fratura nos corpos de prova CP-01 e CP-02.....	26
Figura 21 – CP-03 rompido e com dimensão de alongamento.....	27
Figura 22 – CP-04 rompido e com dimensão de alongamento.....	27
Figura 23 – Fratura nos corpos de prova CP-01 e CP-02.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 AÇO CARBONO ASTM A-36.....	10
3 CORPO DE PROVA.....	11
3.1 Generalidades	11
3.2 Construção do corpo de prova	12
3.2.1 Dimensões	12
3.2.2 Preparação para soldagem	14
3.2.3 Soldagem	14
3.2.4 Usinagem.....	16
4 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	17
4.1 Definição.....	17
5 ALÍVIO DE TENSÃO	18
5.1 Conceito.....	18
5.2 Parâmetros e equipamentos utilizados	19
6 EXECUÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO	22
7 RESULTADOS.....	23
7.1 Corpo de prova 01 (CP-1).....	23
7.2 Corpo de prova 02 (CP-2).....	23
7.3 Comparação entre CP-1 e CP-2	24
7.4 Corpo de prova 03 (CP-3).....	26
7.5 Corpo de prova 04 (CP-4).....	27
7.6 Comparação entre CP-3 e CP-4	28
8 COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAL TRATADO E NÃO TRATADO.....	30
9 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho abordará sobre a resistência que o aço carbono ASTM A-36 possui quando submetido a esforços de tração. Um comparativo será apresentado entre chapas soldadas com tratamento e sem tratamento térmico por alívio de tensão.

A construção do corpo de prova a ser ensaiado deve ser rigorosa e acompanhada de perto, pois qualquer divergência encontrada na fabricação seja por parâmetros de solda incorretos, conformações desnecessárias ou qualquer outra anormalidade, o resultado final do teste poderá ser comprometido.

Na indústria mecânica, se faz muito o uso do alívio de tensão em peças metálicas, pois a solda e a conformação de peças geram discordâncias na estrutura do material, fazendo assim a necessidade de tratar termicamente para rearranjar essas tais discordâncias estruturais do material, que nesse caso será estudado o comportamento do aço ASTM A-36.

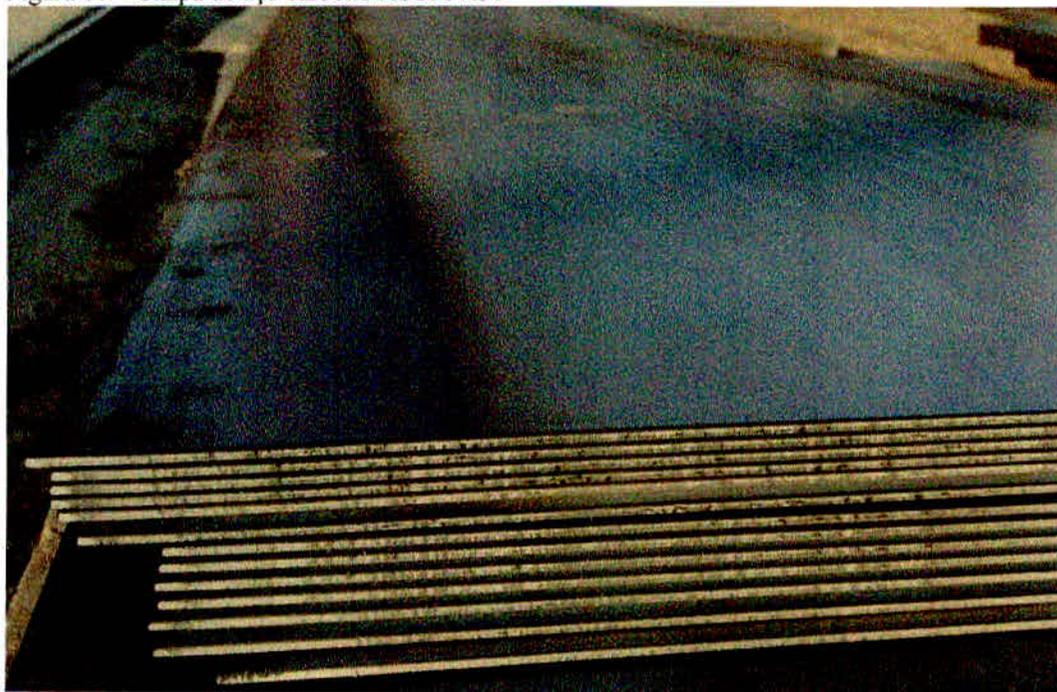
Devido à alta utilização do alívio de tensão no aço ASTM A-36, se faz necessário o estudo quando algum componente deste material já tratado sofrer esforços de tração no sentido axial, se ele será comprometido ou não quando exigido resistência à tração. A tendência é que o material se torne mais dúctil e menos resistente à tração, porém estudos e teste prático serão realizados para comprovar ou não tal afirmação.

2 AÇO CARBONO ASTM A-36

O aço ASTM A-36 é comumente encontrado e bastante utilizado por ter um custo baixo e possuir considerável resistência se levado em conta o valor pago pelo material. É um aço leve e com baixo teor de carbono utilizado primariamente como material estrutural e também utilizado em barras. Ele é relativamente simples quimicamente e possui alta soldabilidade. O aço A-36 é padronizado pela Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), um dos três maiores órgãos de padronização do aço nos Estados Unidos. (PROPRIEDADES..., 2014, p. 1).

Quimicamente, o aço A36 é muito similar ao AISI 1018, que é o aço de baixo teor de carbono mais comum. O A36 contém carbono (0,26%), manganês (0,75%), e impurezas de enxofre (máximo de 0,05%) e fósforo (máximo de 0,04%). O A36 contém cobre (0,2%), que lhe confere aumento de resistência e dureza. O aço A36 tem resistência à tração de 400 a 550 MPa e limite mínimo de escoamento de 250 MPa. Uma seção de 5 cm pode ser alongada 23% antes da quebra. O A36 possui a mesma densidade da maioria dos aços; 7,85 gramas por centímetro cúbico. O A36 é geralmente utilizado na forma de chapas. No entanto, ele também pode ser encontrado na forma de barras redondas e chatas. O A36 é mais comumente utilizado como material estrutural, onde o aumento das propriedades materiais encontrada nos aços não é necessário. Por ser um aço leve, ele é propenso a ferrugem, sendo necessário seu revestimento. (PROPRIEDADES..., 2014, p. 1).

Figura 01 – Chapa de aço carbono ASTM A36



Fonte: STEELPLATE, 2014

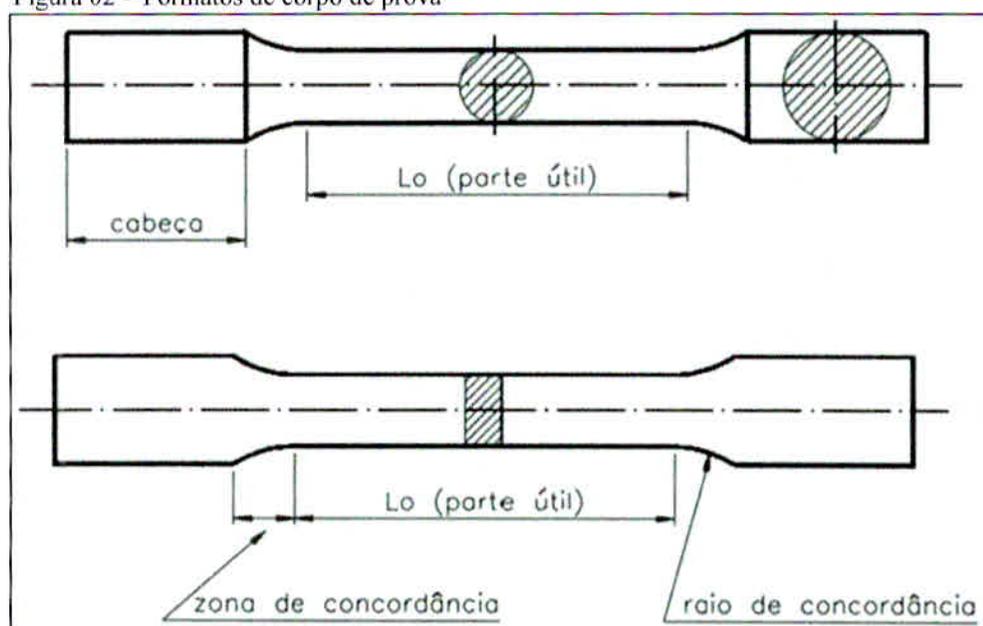
3 CORPO DE PROVA

3.1 Generalidades

O corpo de prova é uma peça construída especialmente para execução de testes onde as dimensões e formatos são determinados através de normas. Neste caso, o corpo de prova foi determinado conforme a norma *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME).

Os corpos de prova usualmente são construídos de duas formas distintas: a com seção circular ou com seção retangular. Corpos de prova com seção circular, geralmente podem ser produzidos por fundição, resultados de produtos circulares ou ainda também que possuam espessuras relativamente grandes e materiais resistentes, que necessitam de grandes esforços para rompê-los. Já os corpos de prova com seção retangular, são originados de placas ou chapas cuja obtenção e construção é simples e também eficaz. (SOUZA, 1979)

Figura 02 – Formatos de corpo de prova



Fonte: ENSAIO de tração – Parte II

A principal região do corpo de prova é denominada como parte útil (L_0). É nessa região onde o corpo de prova irá sofrer o esforço de tração, e conseqüentemente onde irá romper. A parte útil do corpo de prova é mais estreita e possui área da seção transversal menor que em todo o comprimento da peça, justamente para centralizar a carga sofrida nessa região. A cabeça serve apenas para fixação da peça na máquina, podendo ser rosqueada ou não, dependendo da máquina utilizada. Raio ou zona de concordância é onde se faz a

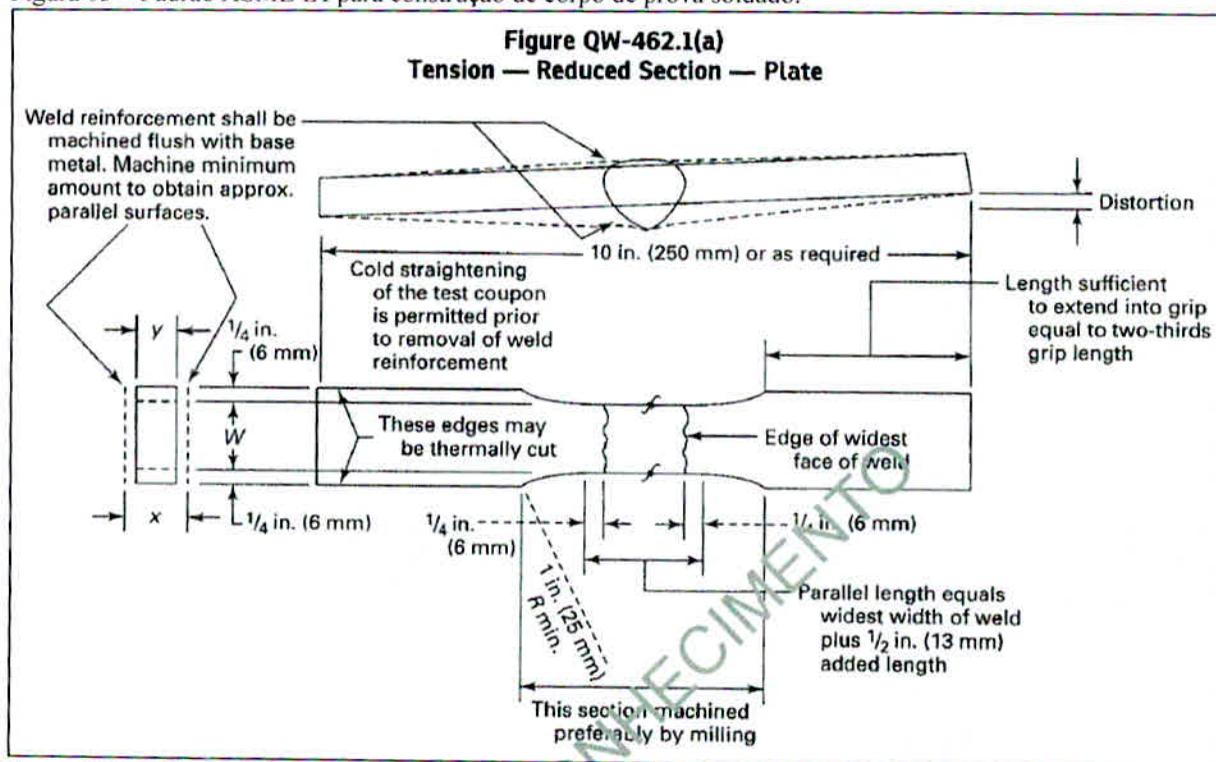
transição de área da parte útil (L_0) para a cabeça do corpo de prova, eliminando assim a possibilidade de haver trincas.

3.2 Construção do corpo de prova

3.2.1 Dimensões

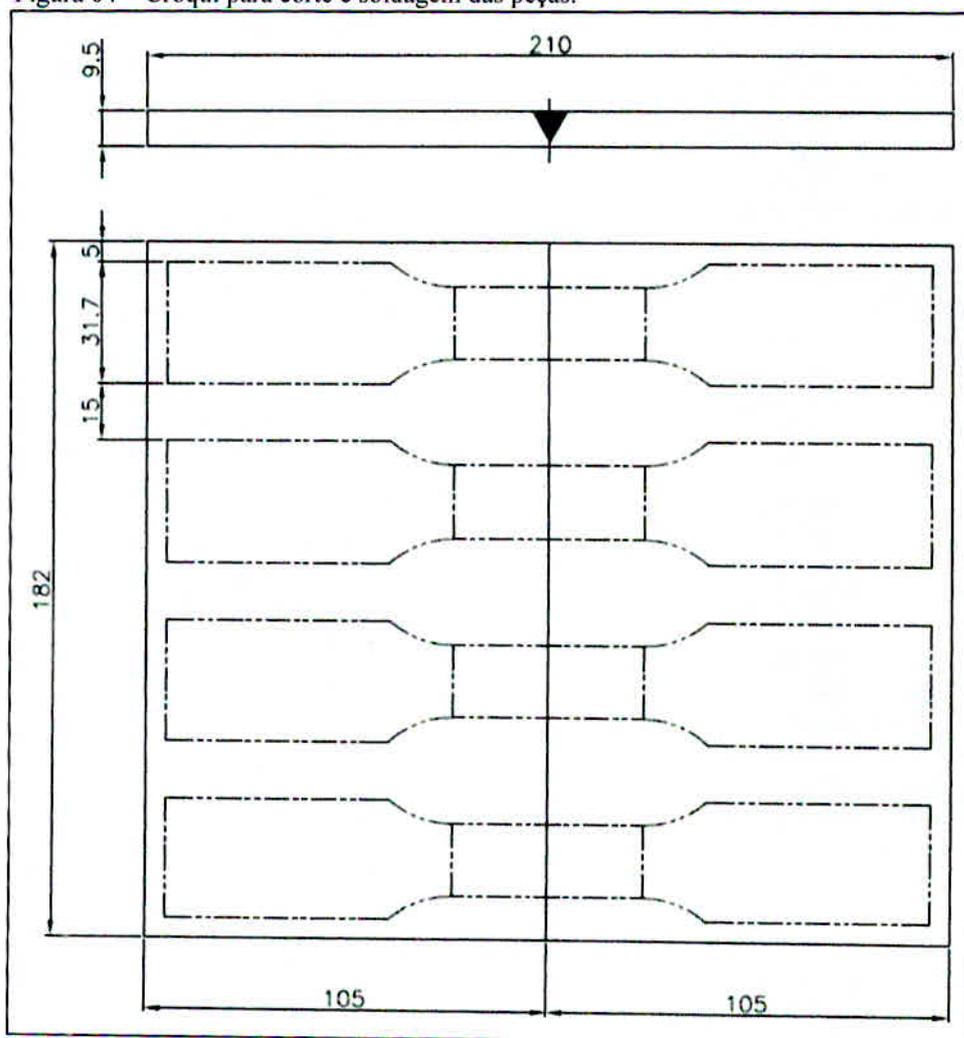
Para um melhor resultado final, o corpo de prova foi construído de maneira a garantir a uniformidade da solda ao longo de toda a peça, e também para um menor empenamento da chapa após soldagem. Para isso, a construção foi elaborada com duas chapas de aço carbono, material ASTM A-36, de 9,5mm x 182mm x 105mm soldadas entre si. Após a soldagem, será realizado o corte dividindo a chapa em quatro peças distintas que serão usinadas posteriormente conforme medidas padronizadas. As dimensões do corpo de prova foram de acordo com a norma ASME Seção IX, como mostra a figura 03 mostrada abaixo.

Figura 03 – Padrão ASME IX para construção de corpo de prova soldado.



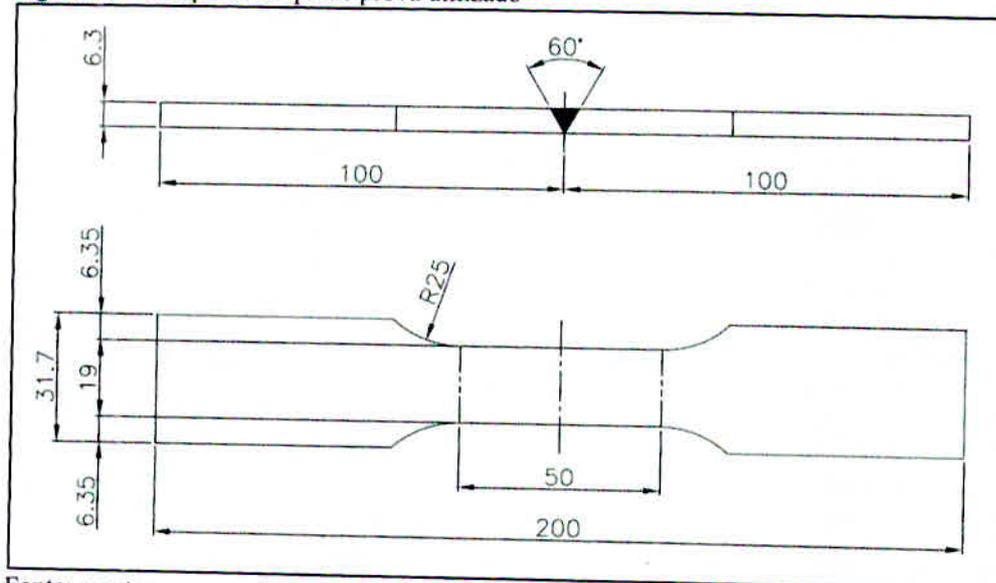
Fonte: ASME IX..., 2013, p. 191.

Figura 04 – Croqui para corte e soldagem das peças.



Fonte: o autor.

Figura 05 – Croqui do corpo de prova utilizado



Fonte: o autor.

3.2.2 Preparação para soldagem

Para soldagem de chapas dispostas em topo com 9,5mm de espessura, é utilizado o tipo de chanfro em “V”. Para chapas de espessuras maiores este tipo de chanfro não é utilizado, pois necessitam de maiores quantidades de depósito de material, o tempo para soldagem também é maior, além do custo de operação se tornar alto e inviável. (MARQUES, 2009).

Foi usado também uma pequena chapa soldada nas extremidades da região onde será efetuada a solda para servir apenas como local de abertura e saída do arco elétrico, garantindo assim uma maior uniformidade da solda ao longo da peça. Esta que por sua vez será retirada após a soldagem ser totalmente concluída.

Figura 06 – Chapa chanfrada e pronta para soldagem.



Fonte: o autor.

3.2.3 Soldagem

O método utilizado para soldagem foi o MIG/MAG, onde a alimentação do arame é contínuo e conseqüentemente a qualidade da solda é melhor. O arame tubular utilizado foi o 71 Ultra (E71T-1) da marca ESAB, e o gás, CO_2 .

Arame tubular rutilico, para soldagem em um único passe ou multipasse em todas as posições. Apresenta uma ampla faixa de parâmetros operacionais, baixo índice de respingos e ótima remoção de escória. Pode ser utilizado tanto com CO_2 , ou mistura ($\text{Ar} + 20\text{-}25\% \text{CO}_2$). Destina-se a soldagem de aços de baixo e médio teor de carbono, soldagem estrutural e construção pesada em geral. (ARAME..., 2004, p. 4).

A solda foi realizada num total de quatro passos, sendo um de raíz, duas soldas complementares e uma solda oposta ao lado chanfrado.

Os parâmetros utilizados na execução da soldagem das peças foram:

- a) Corrente elétrica no primeiro passo (raíz): 165A
- b) Corrente elétrica nos demais passos: 245A
- c) Tensão elétrica no primeiro passo (raíz): 30v
- d) Tensão elétrica nos demais passos: 35v.

O metal depositado na soldagem é composto principalmente por Carbono (0,04%), Silício (0,50%) e Manganês (1,30%). A porcentagem de carbono presente no arame depositado na solda é maior que a quantidade de carbono presente na chapa de material ASTM A-36.

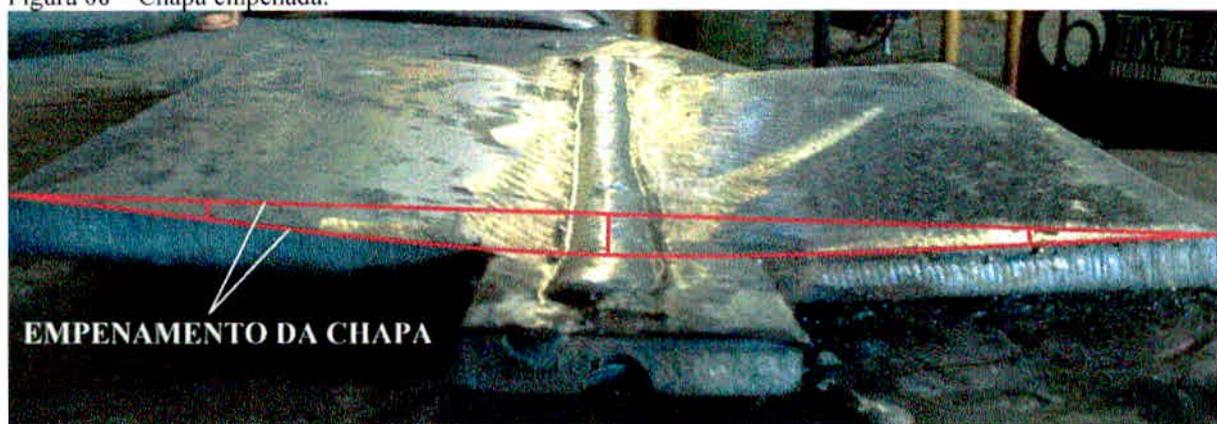
Figura 07 – Soldagem concluída



Fonte: o autor.

Após a conclusão da soldagem, percebeu-se um pequeno empenamento da chapa devido as cargas geradas pela solda. Daí então, se fez a necessidade de desempenamento, pois a usinagem seria impossível ser realizada nessas condições. O desempeno da chapa foi feito a frio em prensa hidráulica, não afetando ou comprometendo a estrutura molecular do material.

Figura 08 – Chapa empenada.



Fonte: o autor.

Após o desempeno, a chapa está preparada para o corte das peças e posteriormente para usinagem.

Figura 09 – Chapa desempenada e livre de rebarbas.



Fonte: o autor.

3.2.4 Usinagem

A usinagem realizada para conclusão da construção do corpo de prova, foi realizada em todos os contornos e faces da peça para não haver nenhuma diferença quanto a geometria entre eles, garantindo assim que o resultado obtido posteriormente aos testes não seja afetado pela distinção dos corpos de prova.

Figura 10 – Usinagem do corpo de prova concluída.



Fonte: o autor.

4 ENSAIO DE TRAÇÃO

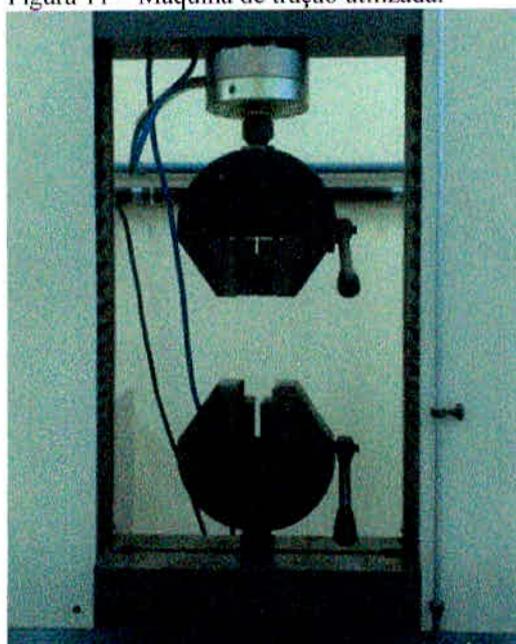
4.1 Definição

O ensaio de tração é considerado o mais importante dentre os ensaios destrutivos por ser de fácil execução e também pela reprodutividade dos resultados. É um ensaio comumente utilizado na indústria mecânica, devido às vantagens de fornecer valores significativos das características mecânicas de diversos materiais. (ENSAIOS..., 2014, p. 8).

O ensaio de tração consiste em submeter um material a um esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo. Geralmente este ensaio é realizado em corpos de prova de forma e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Este corpo de prova é fixado numa máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes por intermédio de um aparelho especial, o mais comum é o extensômetro. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio e o corpo de prova é levado até a sua ruptura. (SOUZA, 1979, p. 3)

O ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material, pois é possível fazer com que a carga aplicada no corpo de prova cresça numa velocidade lenta durante todo o teste. A velocidade do ensaio é muito importante, pois se haver variação deste parâmetro, pode ser que o resultado gerado pelo ensaio, possa ser comprometido e não eficaz. (SOUZA, 1979)

Figura 11 – Máquina de tração utilizada.



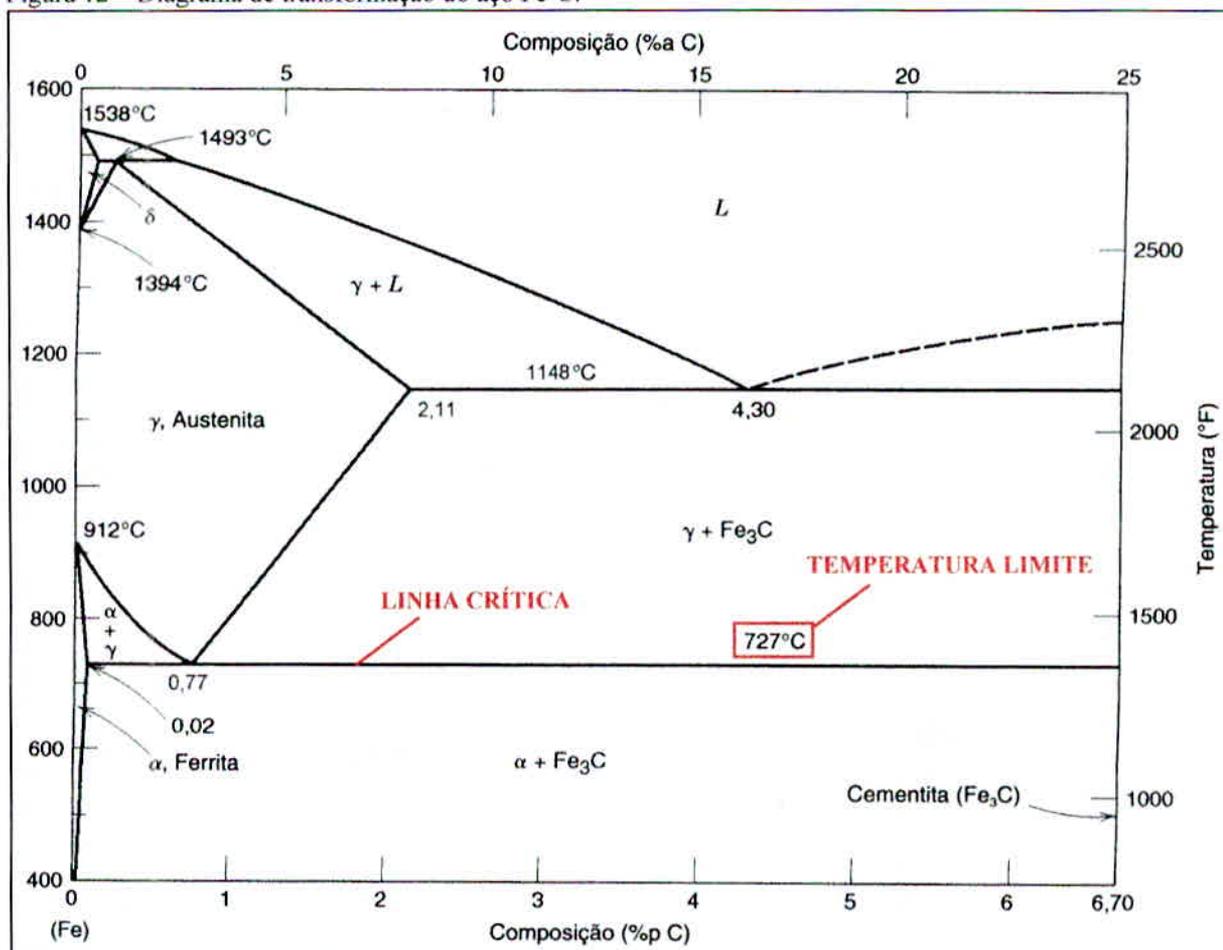
Fonte: o autor.

5 ALÍVIO DE TENSÃO

5.1 Conceito

O tratamento térmico por alívio de tensão para aços é o mais comum na indústria mecânica. Este tratamento requer um aquecimento que deve ser realizado a uma temperatura abaixo da linha crítica de transformação do aço, onde a permanência do material nesse nível por um certo período de tempo (varia conforme o material e espessura), permite reduzir a um limite mínimo e aceitável as tensões prejudiciais provocadas pelas operações de soldagem, ou mesmo por conformação. Vale lembrar que o resfriamento obrigatoriamente deve ser lento. (TRATAMENTO..., 2014, p. 1).

Figura 12 – Diagrama de transformação do aço Fe-C.



Fonte: ENSAIOS dos materiais, 2014.

O alívio de tensões no aço é um processo que visa, na essência, obter um rearranjo das discordâncias causadas nele por algum processo anterior e melhorar sua qualidade. Por exemplo, soldas, desbastes, usinagem, são processos capazes de causar modificações na microestrutura do aço, as quais rompem o equilíbrio das

macro tensões de natureza elástica. Em consequência disto, a peça pode empenar, torcer ou trincar com o esforço. O alívio da tensão previne tais consequências. (ALÍVIO..., 2014, p. 1).

5.2 Parâmetros e equipamentos utilizados

Para realização do ensaio de tratamento térmico por alívio de tensões, foi utilizado o forno da marca BRASIMET do tipo câmara com aquecimento elétrico, onde a temperatura é controlada por um painel digital.

Figura 13 – Forno elétrico UNIS/MG.



Fonte: o autor.

Os parâmetros para execução do tratamento térmico por alívio de tensão foram baseados na interpretação da norma ASME VII e ASME IX. Para chegar aos parâmetros finais para executar o alívio de tensão, deve-se primeiramente identificar o “*P number*” (número P) e o número do grupo do material na tabela da norma ASME IX, como mostra a figura 14. Neste caso como iremos trabalhar com o material ASTM A-36, segue que o número “P” e o número do grupo são iguais a 1.

Figura 14 – Identificação do “número P” e “número de grupo” do aço ASTM A-36.

QW/QB-422 FERROUS/NONFERROUS P-NUMBERS Grouping of Base Metals for Qualification								
Ferrous								
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing	ISO 15608 Group	Nominal Composition
				P-No.	Group No.	P-No.		
SA-36	...	K02600	58 (400)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si
SA-53	Type F	...	48 (330)	1	1	101	11.1	C
SA-53	Type S, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	11.1	C
SA-53	Type E, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	11.1	C
SA-53	Type E, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn
SA-53	Type S, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn
SA-105	...	K03504	70 (485)	1	2	101	11.1	C
SA-106	A	K02501	48 (330)	1	1	101	1.1	C-Si
SA-106	B	K03006	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn-Si
SA-106	C	K03501	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si

Fonte: ASME IX..., 2010, p. 76.

Identificado o número “P” e número do grupo correspondentes ao material ASTM A-36, é possível então definir os parâmetros para execução do alívio de tensão.

Figura 15 – Identificação dos parâmetros para execução do alívio de tensão:

TABLE UCS-56 POSTWELD HEAT TREATMENT REQUIREMENTS FOR CARBON AND LOW ALLOY STEELS				
Material	Normal Holding Temperature, °F (°C), Minimum	Minimum Holding Time at Normal Temperature for Nominal Thickness [See UW-40(f)]		
		Up to 2 in. (50 mm)	Over 2 in. to 5 in. (50 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P-No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr/in. (25 mm), 15 min minimum	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)

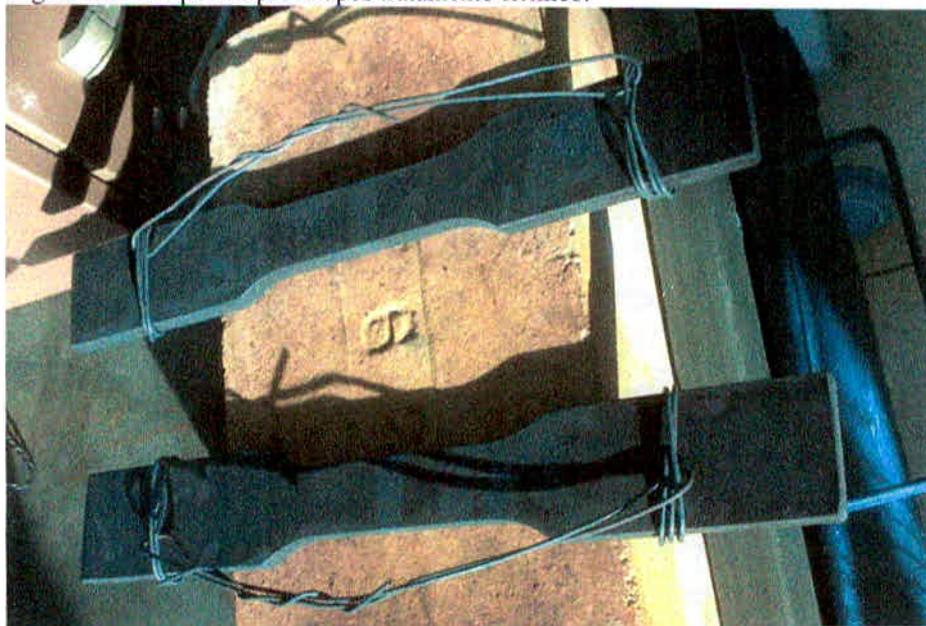
Fonte: ASME VIII..., 2013, p. 167.

Levando em conta o tipo de material e a espessura do corpo de prova, temos então os seguintes parâmetros para realização do tratamento:

Parâmetro	Valor / Descrição
Temperatura	595°C
Tempo de encharcamento	15 minutos
Tipo de resfriamento	Ao ar livre / natural
Tempo de resfriamento	Longo

Assim, o alívio de tensão foi executado respeitando todos os parâmetros e condições pesquisadas anteriormente. O tratamento foi executado em dois corpos de prova, para que o resultado seja posteriormente comparado e julgado se houve alteração de um para o outro, ou se o resultado se equivale entre eles podendo então ser analisado corretamente.

Figura 16 – Corpos de prova após tratamento térmico.



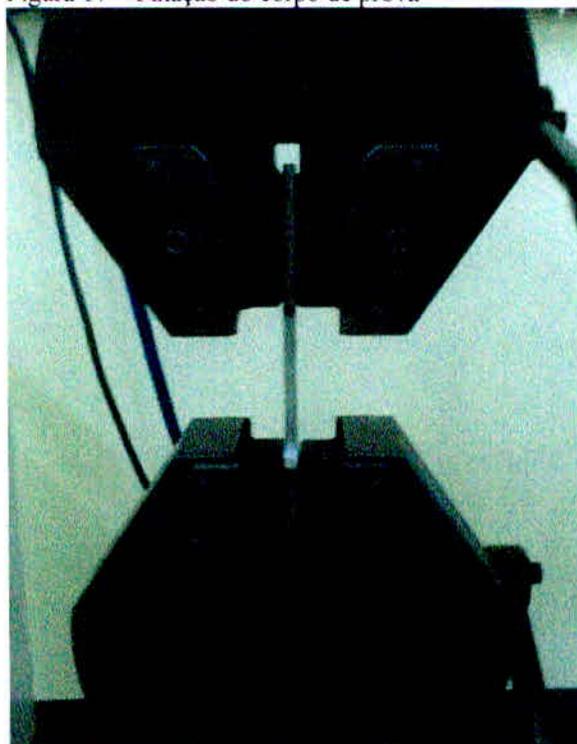
Fonte: o autor.

6 EXECUÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Foram construídos quatro corpos de prova para execução dos ensaios de tração. Dois deles serão ensaiados após serem tratados termicamente por alívio de tensão (cujos parâmetros foram citados anteriormente), e os outros dois corpos de prova serão ensaiados sem o alívio de tensão.

A fixação dos corpos de prova na máquina foi realizada por garras, onde não danificou em nenhum local o corpo de prova.

Figura 17 – Fixação do corpo de prova



Fonte: o autor.

A velocidade anotada na máquina para execução do teste foi de 9mm/min, e a carga é atribuída gradativamente ao longo do ensaio, para que o corpo de prova suporte a maior carga possível até o seu rompimento. Os valores das cargas obtidas serão mostradas a seguir.

7 RESULTADOS

7.1 Corpo de prova 01 (CP-1)

Corpo de prova de aço carbono ASTM A36 sem tratamento térmico por alívio de tensão, submetido a ensaio de tração até a ruptura. Os valores encontrados foram:

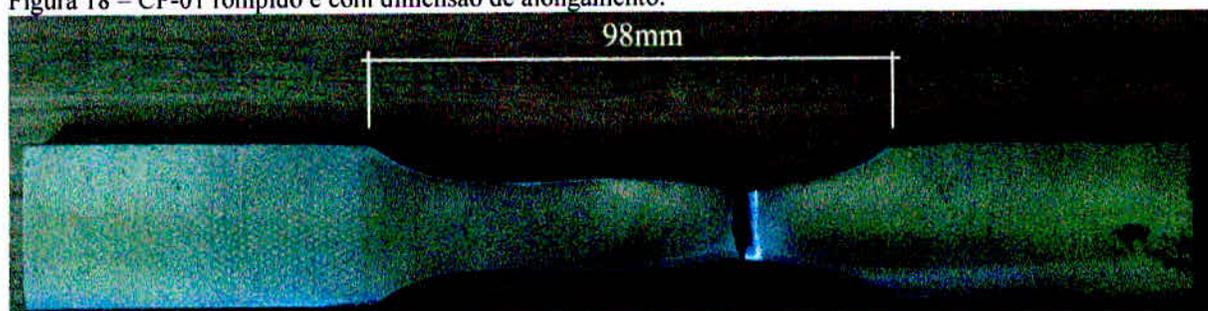
Parâmetros	Valores
Carga máxima de ruptura	5665 Kgf
Comprimento da área útil mais a região de concordância após o ensaio de tração	98mm

O comprimento da área útil mais a região de concordância dos raios do corpo de prova sem o ensaio de tração é de 83mm. Após o ensaio obtivemos a distância medida nos mesmos pontos de 98mm. Assim, temos a seguinte proporção de alongamento:

$$98\text{mm} - 83\text{mm} = 15\text{mm de alongamento,}$$

$$\frac{83}{15} = \frac{100\%}{x} \Rightarrow x = 18\% \text{ de alongamento.}$$

Figura 18 – CP-01 rompido e com dimensão de alongamento.



Fonte: o autor.

7.2 Corpo de prova 02 (CP-2)

Corpo de prova de aço carbono ASTM A36 sem tratamento térmico por alívio de tensão, submetido a ensaio de tração até a ruptura. Os valores encontrados foram:

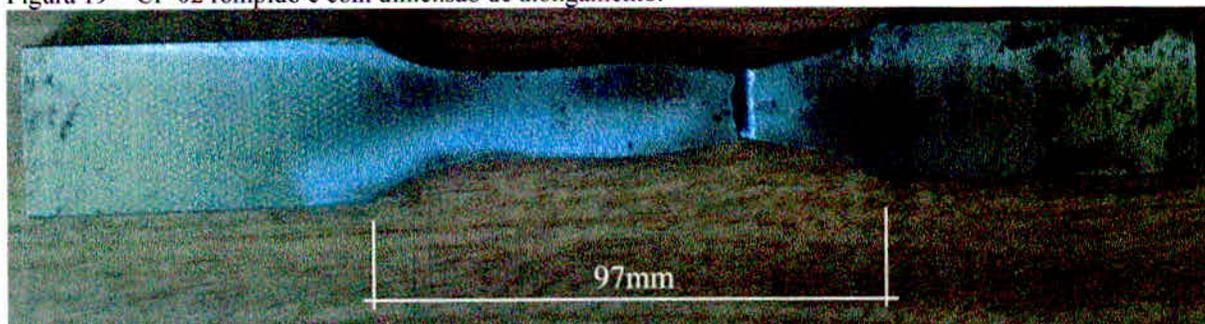
Parâmetros	Valores
Carga máxima de ruptura	5692 Kgf
Comprimento da área útil mais a região de concordância após o ensaio de tração	97mm

O comprimento da área útil mais a região de concordância dos raios do corpo de prova sem o ensaio de tração é a mesma que o CP-01, ou seja, de 83mm. Após o ensaio obtivemos uma distância muito próxima do corpo de prova 01 (CP-01), medindo nos mesmos pontos, temos 97mm. Assim, segue a seguinte proporção de alongamento:

$$97\text{mm} - 83\text{mm} = 14\text{mm de alongamento,}$$

$$\frac{83}{14} = \frac{100\%}{x} \Rightarrow x = 16,9\% \text{ de alongamento.}$$

Figura 19 – CP-02 rompido e com dimensão de alongamento.



Fonte: o autor.

7.3 Comparação entre CP-1 e CP-2

Foram realizados dois testes de tração para confirmar os resultados obtidos e para demonstrar que a construção dos corpos de prova não interferiu neste resultado.

Os dois corpos de prova (CP-01 e CP-02) obtiveram resultados semelhantes. A diferença de carga suportada entre eles é desprezível, pois gira em torno de 0,5%.

$$5692 \text{ Kgf} - 5665 \text{ Kgf} = 27 \text{ Kgf.}$$

$$\frac{27}{5692} \times 100 = 0,5\%$$

Considerando a área da seção na região útil do corpo de prova de $119,7\text{mm}^2$ e o valor médio da carga entre os dois testes de $5678,5\text{ Kgf}$, obtivemos o limite de resistência a tração do aço carbono ASTM A-36 encontrado através do teste e com cálculos:

$$A = b \times t \Rightarrow 19\text{mm} \times 6,3\text{mm} \Rightarrow 119,7\text{mm}^2$$

$$\varphi = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{5678,5}{119,7} \Rightarrow 47,4\text{ Kgf/mm}^2 \times 9,80665\text{ MPa} = 464,8\text{ MPa}$$

Onde,

A = Área da seção da região útil do corpo de prova [mm^2];

b = Largura do corpo de prova na região útil [mm];

t = Espessura do corpo de prova [mm];

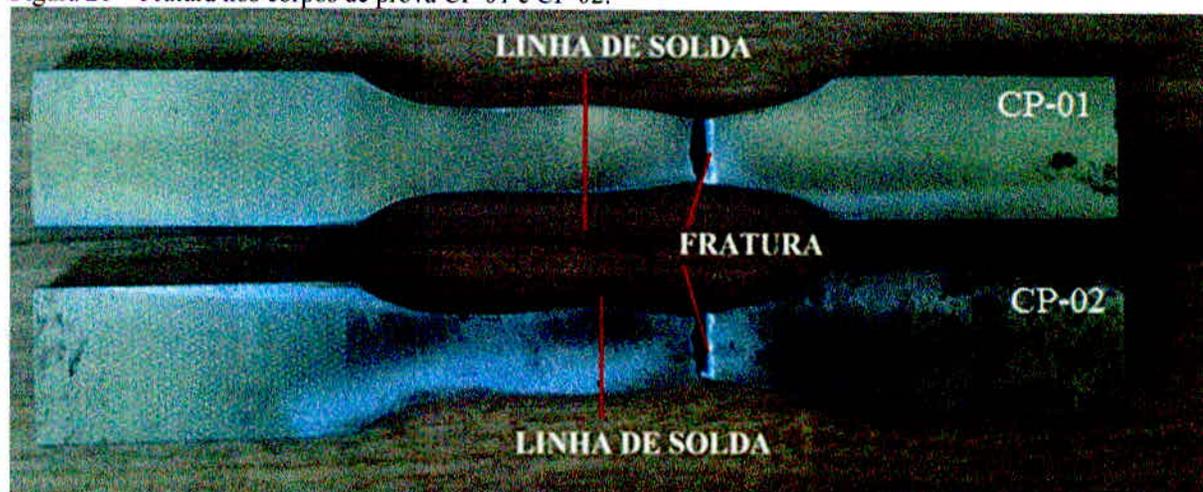
φ = Limite de resistência a tração [MPa];

F = Valor médio da carga suportada entre os dois testes [Kgf].

A ruptura nos corpos de prova foi localizada na região ao lado da solda, deslocando-se do centro da peça, pois o material adicionado na solda possui limite de resistência a tração maior que o aço carbono ASTM A-36.

A resistência a tração do material adicionado na solda, segundo o fabricante ESAB, é de 600 MPa . Daí então justifica-se o porquê da ruptura não ter sido na região central da peça, ou na solda, devido a resistência a tração do material adicionado ser maior que a resistência do aço carbono ASTM A-36.

Figura 20 – Fratura nos corpos de prova CP-01 e CP-02.



Fonte: o autor.

7.4 Corpo de prova 03 (CP-3)

Ensaio realizado em corpo de prova de aço carbono A-36 tratado termicamente por alívio de tensão, submetido a ensaio de tração até a ruptura. Os valores encontrados foram:

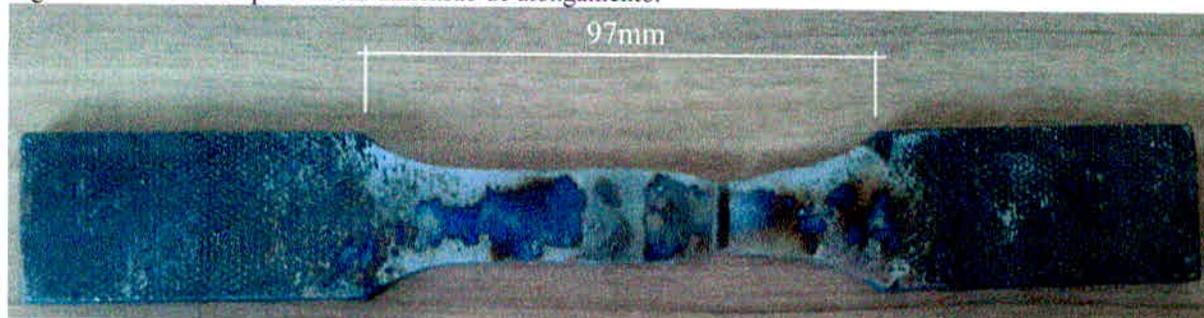
Parâmetros	Valores
Carga máxima de ruptura	5473 Kgf
Comprimento da área útil mais a região de concordância após o ensaio de tração	97mm

Considerando os mesmos parâmetros de medição dos corpos de prova anteriores, obtivemos a mesma distância do corpo de prova 2 (CP-2), ou seja, 97mm. Assim, temos a mesma proporção de alongamento:

$$97\text{mm} - 83\text{mm} = 14\text{mm de alongamento,}$$

$$\frac{83}{14} = \frac{100\%}{x} \Rightarrow x = 16,9\% \text{ de alongamento.}$$

Figura 21 - CP-03 rompido e com dimensão de alongamento.



Fonte: o autor.

7.5 Corpo de prova 04 (CP-4)

Ensaio realizado em corpo de prova de aço carbono ASTM A36 tratado termicamente por alívio de tensão, submetido a ensaio de tração até a ruptura. Os valores encontrados foram:

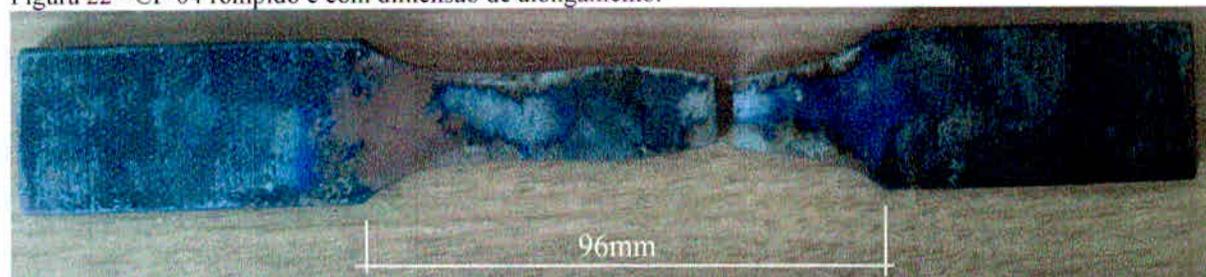
Parâmetros	Valores
Carga máxima de ruptura	5505 Kgf
Comprimento da área útil mais a região de concordância após o ensaio de tração	96mm

Considerando os mesmos parâmetros de medição dos corpos de prova anteriores, obtivemos a distância de 96mm. Assim, temos a proporção de alongamento:

$$96\text{mm} - 83\text{mm} = 13\text{mm de alongamento,}$$

$$\frac{83}{13} = \frac{100\%}{x} \Rightarrow x = 15,7\% \text{ de alongamento.}$$

Figura 22 - CP-04 rompido e com dimensão de alongamento.



Fonte: o autor.

7.6 Comparação entre CP-3 e CP-4

Assim como nos corpos de prova anteriores (CP-01 e CP-02), os resultados entre CP-03 e CP-04 foram semelhantes. A diferença de carga suportada entre eles também é desprezível. A diferença em porcentagem é de 0,6%.

$$5505 - 5473 = 32 \text{ Kgf.}$$

$$\frac{32}{5505} \times 100 = 0,6\%$$

Considerando o valor da área de seção da região útil de $119,7\text{mm}^2$, e o valor médio da carga encontrada entre os dois testes foi de 5489 Kgf, temos a resistência a tração do corpo de prova tratado termicamente por alívio de tensão:

$$A = 119,7\text{mm}^2$$

$$\varphi = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{5489}{119,7} \Rightarrow 45,8 \text{ Kgf/mm}^2 \times 9,80665 \text{ MPa} = 449,1 \text{ MPa}$$

Onde,

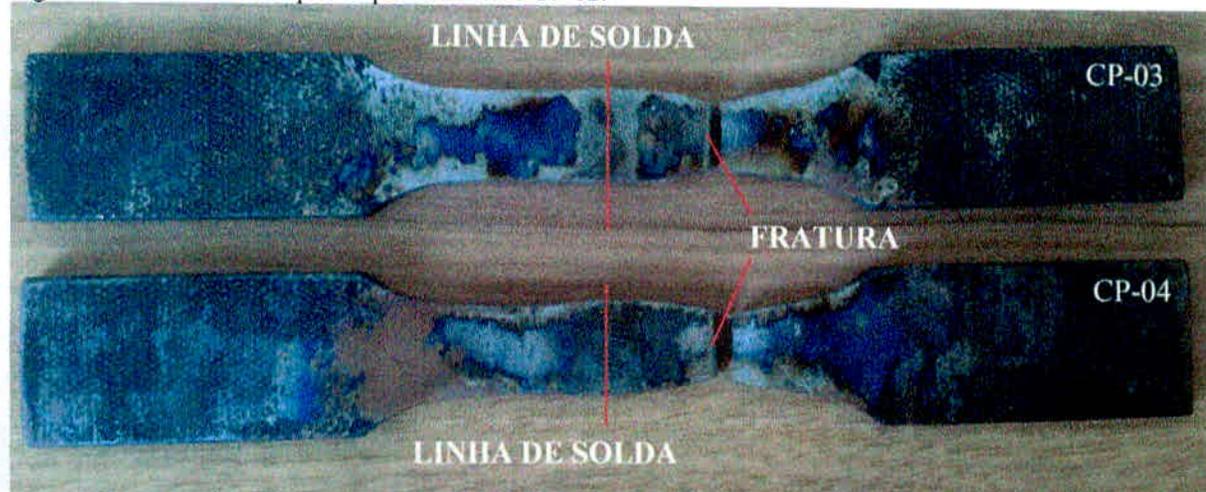
A = Área da seção da região útil do corpo de prova [mm^2];

φ = Limite de resistência a tração [MPa];

F = Valor médio da carga suportada entre os dois testes [Kgf].

O limite de resistência calculado é inferior a resistência do material adicionado na solda e também inferior a resistência dos corpos de prova onde não foi realizado o alívio de tensão. Assim como nos demais corpos de prova, a ruptura foi localizada fora da região da solda.

Figura 23 - Fratura nos corpos de prova CP-01 e CP-02.



Fonte: o autor.

8 COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAL TRATADO E NÃO TRATADO

Como citado anteriormente, na indústria metalúrgica se faz necessário o alívio de tensão para peças metálicas que passaram por processos de solda ou conformação, por exemplo. Porém, com esse tratamento térmico a resistência a tração do aço é reduzida, podendo ou não comprometer essa resistência do aço.

Neste caso, usando corpos de prova, temos os seguintes valores das cargas suportadas:

Corpo de prova	Carga máxima suportada (média)
Corpo de prova sem alívio de tensão (Y)	5678,5 Kgf
Corpo de prova com alívio de tensão (W)	5489 Kgf

Nota-se que o valor da carga suportada pelo corpo de prova com alívio de tensão é ligeiramente inferior ao corpo de prova onde não foi realizado nenhum tipo de tratamento térmico. Com base nos dados, temos as seguintes proporções:

$$Z = Y - W \Rightarrow 5678,5 \text{ Kgf} - 5489 \text{ Kgf} = 189,5 \text{ Kgf}$$

$$\frac{Z}{Y} \Rightarrow \frac{189,5 \text{ Kgf}}{5678,5 \text{ Kgf}} \times 100 = 3,3\%$$

Onde,

Y = Média da carga máxima suportada do material sem alívio de tensão [Kgf];

W = Média da carga máxima suportada do material com alívio de tensão [Kgf];

Z = Diferença dos valores de carga [Kgf].

Nota-se então que a diferença de carga suportada entre um material tratado e outro não tratado é sim muito baixa. O corpo de prova de material ASTM A-36 com alívio de tensão suporta apenas 3,3% a menos de carga do que uma peça do mesmo material sem o tratamento térmico.

Levando em consideração que um projeto mecânico é dimensionado usando fatores de segurança para garantir a estabilidade ou resistência do determinado equipamento ou peça, é indiscutivelmente que apenas 3,3% que o material tratado suporta a menos que um material não tratado termicamente por alívio de tensão, em relação a esforços de tração, não afeta a

resistência e a segurança do equipamento. O alívio de tensão não é prejudicial ao aço ASTM A-36 quando o mesmo é submetido posteriormente à esforços de tração.

9 CONCLUSÃO

O aço ASTM A-36 quando tratado termicamente por alívio de tensão, tem a capacidade de reorganizar a microestrutura do material causada por processos de fabricação. Porém esse tratamento também reduz sua resistência à tração. Essa redução na resistência do material é considerada não prejudicial ao equipamento, pois a diferença entre uma peça tratada e outra não tratada é muito pequena.

Após todos os estudos realizados e testes praticados, pode-se então afirmar que o material ASTM A-36 quando tratado, suporta menos carga quando submetido a esforços de tração, quando em comparação com o mesmo material não tratado, fazendo assim um procedimento totalmente viável, mesmo reduzindo a resistência a tração da peça em cerca de 3,3%.

A construção acompanhada do corpo de prova seguindo todos os procedimentos indicados para o tipo de material, os parâmetros utilizados no alívio de tensão de acordo com a norma ASME e o ensaio de tração simples, porém com exatidão nos resultados, colaboraram que a pesquisa seja concluída com êxito e os resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- ALÍVIO de tensão. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.metalharte.com.br/processos_alivio.html>. Acesso em: 06 jul. 2014.
- ARAME tubular. **ESAB**, 2004, p.4.
- ASME VIII**: Rules for Construction of Pressure Vessels. Division I. New York: ASME, 2013.
- ASME IX**: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications. New York: ASME, 2013.
- ASME IX**: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications. New York: ASME, 2010.
- ENSAIO de tração – Parte II. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://mecanica-blog.blogspot.com.br/2013/03/ensaio-de-tracaoparte-ii.html>> Acesso em: 15 jun. 2014.
- ENSAIOS dos materiais. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.urisan.tche.br/~lemm/arquivos/ensaios_mecanicos.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2014.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem**: Fundamentos e tecnologia. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- PROPRIEDADES materiais do aço A36. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.ehow.com.br/propriedades-materiais-aco-a36-info_46889/>. Acesso em: 22 jun. 2014.
- SOUZA Sérgio Augusto de. **Ensaaios mecânicos de materiais metálicos**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1979.
- STEELPLATE. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.carbon-steelplate.com/sale-1880081-1000mm-astm-a36-heat-resistant-corten-steel-plate-for-boiler-construction.html>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- TRATAMENTO térmico aplicado à soldagem. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/138-tratamento-termico-aplicado-a-soldagem.html>>. Acesso em: 06 jul. 2014.