

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

DEPARTAMENTO DE FABRICAÇÃO MECANICA

**ESTUDO DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA EM
AÇO INOXIDÁVEL**

RELATÓRIO FINAL DA INICIAÇÃO TECNOLÓGICA

Aluno: Bruno Rafael Bueno Moreira

Orientador: Prof. Amilton Cordeiro de Freitas

NUPETS - Núcleo De Pesquisas Em Tecnologia Da Soldagem

**Curso Superior em Tecnologia Mecânica – Modalidade: Fabricação
Mecânica**

DEZEMBRO 2019

DEPARTAMENTO DE FABRICAÇÃO MECANICA

Aluno:

Professor Orientador:

Chefe do Departamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. MÉTODO.....	5
3. SOLDA.....	5
3.1. História da Solda.....	5
3.2. Característica da Soldagem	6
3.3. Soldabilidade	7
4. ELETRODO REVESTIDO	8
5. AÇO INOXIDÁVEL.....	9
6. ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA).....	11
7. DESENVOLVIMENTO.....	11
8. CONCLUSÃO	13
8.1. Microdureza	13
8.2. Microestrutura	16
8.3. Macrografia	18
9. REFERÊNCIA.....	19
10. ANEXOS	20

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SOLDAGEM	7
FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO DA ZTA.....	11
FIGURA 3: UNIÃO DOS CORPOS DE PROVA UTILIZANDO PONTO DE SOLDA.....	12
FIGURA 4: CHAPAS SOLDADAS UTILIZANDO OS CORDÕES	12
FIGURA 5: CORPO DE PROVA CORTADO EM QUATRO PARTES	12
FIGURA 6: CORPOS DE PROVA FINALIZADOS	13
FIGURA 7: MICROESTRUTURA DO MATERIAL BASE	17
FIGURA 8: MICROESTRUTURA NA ZTA NO CORDÃO DE SOLDA LINEAR	17
FIGURA 9: MICROESTRUTURA NA ZTA NO CORDÃO DE SOLDA TECIMENTO	17
FIGURA 10: MICROESTRUTURA NA ZTA NO CORDÃO DE SOLDA PONTO A PONTO	18
FIGURA 11: MACROGRAFIA CORDÃO DE SOLDA LINEAR	18
FIGURA 12: MACROGRAFIA TECIMENTO.....	19
FIGURA 13: MACROGRAFIA PONTO A PONTO	19

LISTA DE TABELA

TABELA 1: GRAU DE SOLDABILIDADE	8
TABELA 2: PERÍODO DE PESQUISA	19

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO 1: EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM	6
GRAFICO 2: GRÁFICO COM AS MEDIDAS OBTIDAS NO CORDÃO DE SOLDA LINEAR....	14
GRAFICO 3: GRÁFICO COM AS MEDIDAS OBTIDAS NO CORDÃO DE SOLDA TECIMENTO.	15
GRAFICO 4: GRÁFICO COM AS MEDIDAS OBTIDAS NO CORDÃO DE SOLDA PONTO A PONTO.....	15
GRAFICO 5: GRÁFICO COM AS MEDIDAS OBTIDAS DA ZTA.....	15
GRAFICO 6: GRÁFICO QUE APRESENTA A MÉDIA DA MICRODUREZA NA ZTA	16

1. INTRODUÇÃO

Neste artigo, fizemos um estudo utilizando-se de três tipos de cordões de solda diferentes (Linear, Tecimento e Ponto a Ponto), para conseguirmos analisar o que cada tipo de cordão pode causar no material, foi utilizado para o estudo chapas de aço inoxidável e eletrodo AWS E 308-16/308L-16. Assim foi possível fazer uma análise do que ocorreu com o material, analisando a estrutura do material base, zona termicamente afetada (ZTA) e solda e também notar toda a sua variação de dureza e estrutura afetada pelo calor gerado no momento da solda.

2. MÉTODO

Para a realização do artigo foi feito um estudo de caso (estudo da Zona Termicamente Afetada – ZTA) e utilizado uma variedade de procedimentos para preparar corpos de prova e amostras para serem analisadas as suas microestruturas e microdureza, utilizando-se um microscópio e um durômetro metalográfico.

3. SOLDA

3.1. História da Solda

O primeiro princípio da solda começou antes de 1800, com a união de duas peças por fusão. Aonde o processo era todo manual realizado na forja do ferreiro, com a revolução industrial e as duas guerras mundiais influenciaram desenvolvimento da solda moderna. Nesse período os métodos usuais eram solda por resistência, solda a gás e solda a arco.

No início do século XX a soldagem a gás teve seu surgimento e foi dominante para fabricação e trabalhos de reparos. Alguns anos depois a solda

elétrica que se desenvolveu tomou conta da indústria definitivamente. Evolução do processo de soldagem no gráfico abaixo.

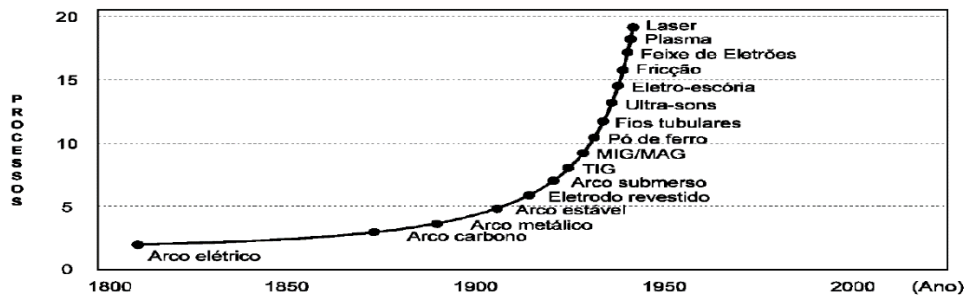


Gráfico 1: Evolução do processo de soldagem

Fonte: Apostila Soldagem, 2019

A soldagem está estreitamente ligada as mais importantes atividades indústrias que existem no mundo industrial moderno; construção civil metálica, aeronáutica, ferroviárias, navais, metalúrgica mecânica e elétrica. É rara a indústria que despreza o processo de soldagem como um processo de produção ou de manutenção.

3.2. Característica da Soldagem

Soldagem é um processo de união de materiais, especificamente, união de metais e polímero. Na soldagem, a união é obtida pela aproximação dos átomos nos metais ou moléculas nos polímeros à distâncias é suficientemente pequenas para que ligações químicas sejam formadas. Diferentemente dos demais processos de união (parafusagem, rebitagem, colagem e brasagem), na soldagem ocorre uma mistura dos materiais base e de adição essa mistura, tecnicamente conhecida por solubilidade. A utilização do oxigênio e de um gás combustível permitiu a obtenção de chama de elevada temperatura que permitiu a fusão localizada de determinados metais e a formação de um banho de fusão que, ao solidificar, forma a “ponte” entre as peças a serem unidas observando na figura 1. A soldagem por fusão inclui a maioria dos processos mais usados atualmente.

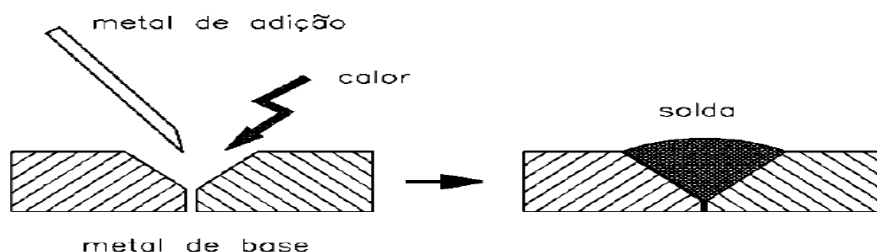


Figura 1: Soldagem

Fonte: Apostila de Soldagem, 2019

3.3. Soldabilidade

Segundo a American Welding Society (AWS) define soldabilidade como “a capacidade de um material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço”. Esta definição é coloca pontos importantes como: “o projeto é adequado” e as condições e o procedimento de soldagem” Uma definição alternativa, mais prática, seria: “a facilidade relativa com que uma solda satisfatória, que resulte em uma junta similar ao metal sendo soldado, pode ser produzida”. Outro fator importante é a capacidade de formar a série contínua de soluções sólidas entre um metal e outro. A maioria das ligas metálicas são soldáveis, mas, certamente, algumas são mais difíceis de serem soldadas por um dado processo que outras. Por outro lado, o desempenho esperado para uma junta soldada depende fundamentalmente da aplicação a que está se destina. Assim, para determinar a soldabilidade de um material, é fundamental considerar o processo e procedimento de soldagem e a sua aplicação. Assim, é importante conhecer bem o material sendo soldado, o projeto da solda e da estrutura e os requerimentos de serviço (cargas, ambiente, etc). A figura a seguir resume o grau de soldabilidade de alguns dos materiais metálicos mais usados na indústria mecânica.

Materiais	Soldabilidade			
	Ótima	Boa	Regular	Difícil
Aço baixo carbono	x			
Aço médio carbono		x	x	
Aço alto carbono				x
Aço inox	x	x		
Aços-liga			x	
Ferro fundido cinzento			x	
Ferro fundido maleável e nodular			x	
Ferro fundido branco				x
Liga de alumínio		x		
Liga de cobre		x		

Tabela 1: Grau de soldabilidade

Fonte: Apostila Soldagem, 2019

Como se vê, a soldabilidade dos metais varia de um material para outro, de modo que as juntas soldadas nem sempre apresentam as características mecânicas desejáveis para determinada aplicação.

4. ELETRODO REVESTIDO

O processo de soldagem com eletrodo revestido é o mais amplamente utilizado. Possui a maior flexibilidade entre todos os processos de soldagem uma vez que a maioria dos metais pode ser unida ou revestida pela soldagem.

Existe uma variedade de eletrodos revestidos, que são facilmente encontrados no mercado, cada eletrodo contendo no seu revestimento a capacidade de produzir os próprios gases de proteção dispensando o suprimento adicional de gases, que são necessários em outros processos de soldagem.

Os eletrodos revestidos podem ser usados em todas as posições (plana, vertical, sobre cabeça), como em praticamente todas espessuras de metal de base e em áreas de acesso limitado.

Os eletrodos revestidos são mais simples em termo de necessidade de equipamento com custo de investimento baixo.

- O processo nos traz algumas boas vantagens:
- Processo de soldagem de baixo investimento;
- Não há necessidade de suprimento de gases;

- Flexibilidade de aplicação;
- Grande variedade de consumíveis;
- Equipamentos podem ser usados também para outros processos.

Existem diferentes tipos de eletrodos revestidos, variando de acordo com o material a ser soldado e sua aplicação. A norma mais utilizada para classificação dos eletrodos revestidos é a ASME II C (American Society of Mechanical Engineers), que segue as definições da AWS (American Welding Society).

A classificação é feita de acordo com o tipo de consumível, propriedades mecânica, posições de soldagem, tipo de revestimento e composição química do metal depositado.

5. AÇO INOXIDAVEL

Existem alguns aços que são resistentes à corrosão, são os inoxidáveis. Esses aços são caracterizados pela resistência à corrosão atmosférica, pois quando estão ligados com outros metais como o Cromo e o Níquel, ficam menos reativos. São fabricados a partir do ferro-gusa em altos-fornos.

A expressão aço inoxidável nos dá uma ideia de um material que não se destrói mesmo quando submetido aos mais violentos abusos, mas na verdade esse tipo de aço não é eterno, só apresenta uma maior resistência à corrosão quando submetido a um determinado meio ou agente agressivo.

A resistência à oxidação e corrosão do aço inoxidável se deve principalmente à presença do cromo, que permite a formação de uma película finíssima de óxido de cromo sobre a superfície do aço, que é impermeável e insolúvel nos meios corrosivos usuais.

Assim, podemos definir como aço inoxidável o grupo de ligas ferrosas resistentes à oxidação e corrosão, que contenham no mínimo 12% de cromo.

O aço é facilmente corrosível por ação química ou eletroquímica. O próprio meio ambiente o danifica: o oxigênio do ar, por exemplo, quando entra em contato com o ferro contido no aço forma o óxido de ferro causando

alterações naturais, porém, indesejáveis. O próprio nome já indica, aço inoxidável é um aço de alta-liga resistente à ação deteriorante do oxigênio, ou seja, não sofre oxidação. Apresenta propriedades físico-químicas superiores aos aços comuns, sendo a alta resistência à oxidação atmosférica a sua principal característica.

Principais utilizações dos aços inoxidáveis:

- **Utensílios domésticos:** Grandes eletrodomésticos e pequenos utensílios, como garfos, faca e talheres em geral, e também panelas;
- **Em automóveis:** produção de peças para veículos automotores como, por exemplo, canos de descarga;
- **Na construção civil:** em edifícios e casas;
- **Na Indústria:** alimentação, produtos químicos e petróleo;
- **Nos grandes centros urbanos:** fachadas e placas de sinalização visual.

Propriedades como resistência à corrosão e à capacidade de compor peças higiênicas e estéticas fazem do aço inoxidável um material muito atrativo para diversas finalidades. Vejamos outras propriedades:

- É resistente a altas temperaturas;
- Permite acabamentos superficiais e formas variadas, o que o faz ainda mais atrativo;
- Possui um forte apelo visual (modernidade, leveza e prestígio);
- Resistência mecânica adequada, o que permite moldá-los;
- Facilidade de limpeza, pois a baixa rugosidade superficial faz com objetos de aço inox sejam mais facilmente higienizados.

6. ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA)

Durante o processo de soldagem, que dá origem ao cordão de solda, surge um gradiente térmico no material base, criando a Zona Termicamente Afetada (ZTA). Ela representa a região da solda que não se fundiu durante a soldagem, porém devido as altas temperaturas atingidas no processo, sofre modificações em suas propriedades mecânicas e metalúrgicas.

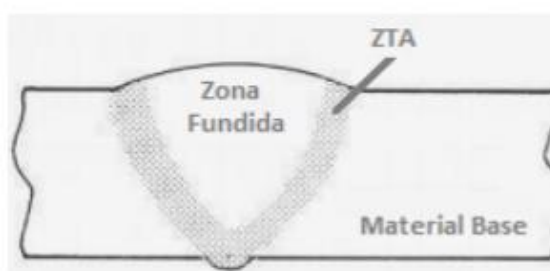


Figura 2: Representação da ZTA.

Fonte: Apostila Soldagem, 2019

Essas modificações resultam em diferenças no valor da dureza, tamanho do grão e resistência mecânica, presentes nesta região.

7. DESENVOLVIMENTO

Para chegar a análise final foram necessários alguns processos, começando pela preparação do corpo de prova, nesse processo foi utilizado a serra hidráulica, fresadora e lixadeira, deixando cada um deles com um tamanho de 80x50x5mm e um chanfro de 45° em cada corpo de prova e em seguida foi feito um ponto de solda em cada extremidade, deixando 2mm de uma peça a outra.



Figura 3: União dos corpos de prova utilizando ponto de solda.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Em seguida foi aplicado o cordão de solda pré-selecionado em cada corpo de prova, utilizando eletrodo revestido e uma corrente de 120A, seguindo a sequência dos cordões (Linear, Tecimento e Ponto a Ponto).

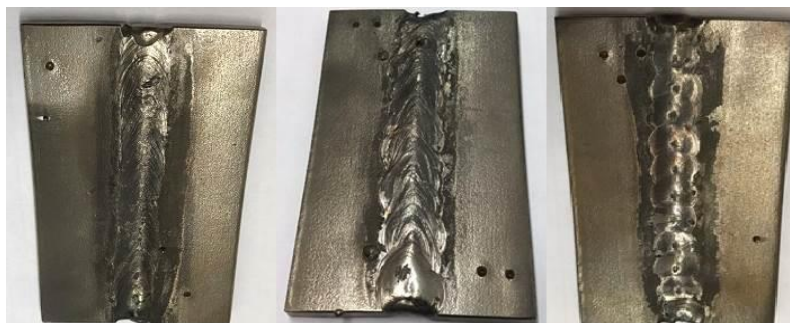


Figura 4: Chapas soldadas utilizando os cordões.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Antes do ensaio propriamente dito, os corpos de prova foram cortados em quatro partes, descartando as pontas para uma melhor qualidade de análise.



Figura 5: Corpo de prova cortado em quatro partes.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os corpos de prova foram embutidos, para uma melhor preparação, utilizando baquelite em pó na embutidora e depois foram lixadas até a obtenção da qualidade desejada, esse processo de lixamento contou com quatro lixas d'água, #220, #320, #400 e #600 e em seguida os corpos de prova foram polidos na politriz metalográfica com o auxílio de pasta diamantada, para obtenção de uma face espelhada.

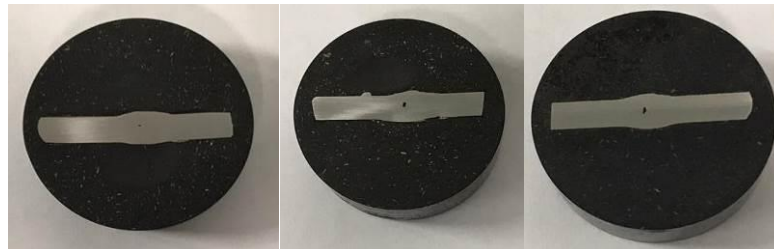


Figura 6: Corpos de prova finalizados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Assim foi possível partir para a última parte do processo, o ataque químico que foi feito em cada amostra separadamente, utilizando Água Regia (50% de aço clorídrico e 50% de aço nítrico), isso permitiu fazer a análise da microestrutura e microdureza.

8. CONCLUSÃO

Com todos os processos finalizados, foi possível a análise final do corpo de prova, conseguindo alcançar a meta estipulada no início do estudo, obtendo informações sobre a microestrutura e microdureza.

8.1. Microdureza

Colocando os três corpos de prova em análise, foi possível ver nitidamente as diferenças de microdureza e microestrutura de um cordão de solda para o outro, conseguindo assim entender o que ocorre com o material quando é aplicado o cordão de solda, devido ao seu tempo de contato com a temperatura elevada e o seu resfriamento.

Através do estudo dos resultados obtidos no ensaio de dureza, utilizando um estudo de material base, ZTA e solda e também um media de dureza da ZTA, foi possível chegar as seguintes conclusões:

- Cordão de solda Linear: Devido ao seu modo de aplicação, ele interfere muito pouco na dureza do material base.
- Cordão de solda Tecimento: Devido ao seu modo de aplicação, tem uma interferência mediana na dureza do material base, por manter um tempo maior de contato gerando calor na mesma área, afetando mais o material base do que o linear.
- Cordão de solda Ponta a Ponto: Devido ao seu modo de aplicação, tem uma interferência maior na dureza do material base, devido a fazer um ponto sobre outro, gera um calor maior e por um tempo mais incisivo no material, assim fazendo que o mesmo esquente e esfrie mais vezes.
- Essas conclusões foram obtidas com a estudo dos gráficos abaixo, que apresenta as variações de dureza nas três zonas (Material base, ZTA e Solda).

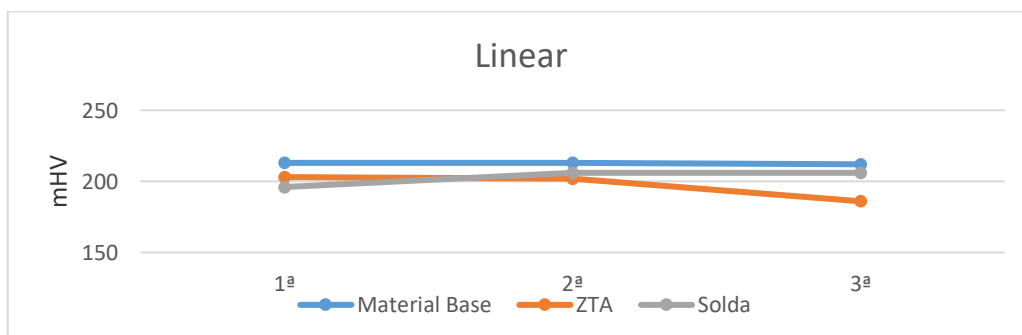


Gráfico 2: Gráfico com as medidas obtidas no cordão de solda Linear.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

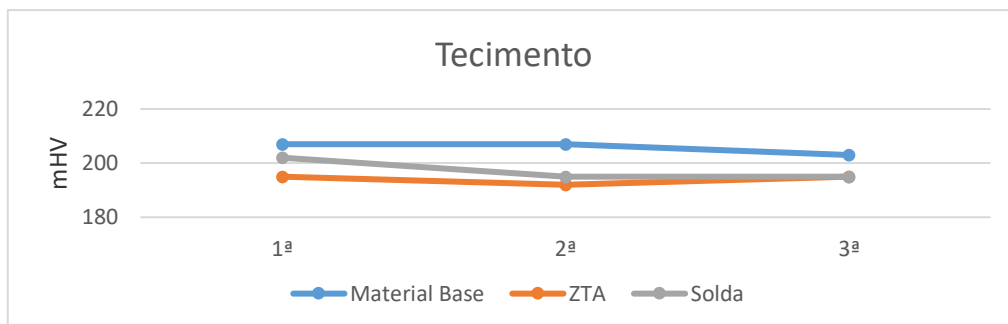


Gráfico 3: Gráfico com as medidas obtidas no cordão de solda Tecimento.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

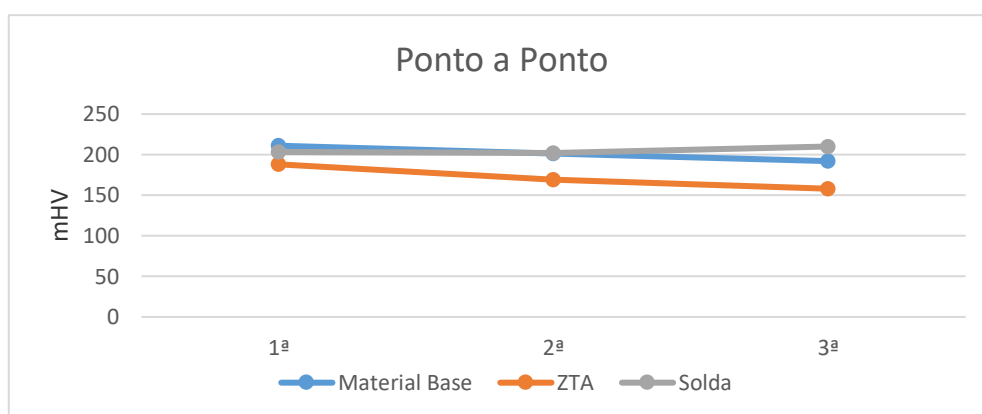


Gráfico 4: Gráfico com as medidas obtidas no cordão de solda Ponto a Ponto.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

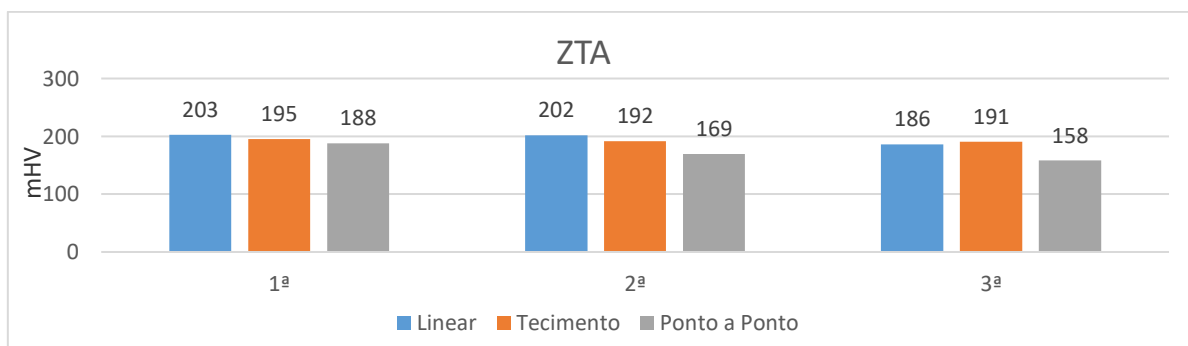


Gráfico 5: Gráfico com as medidas obtidas da ZTA

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

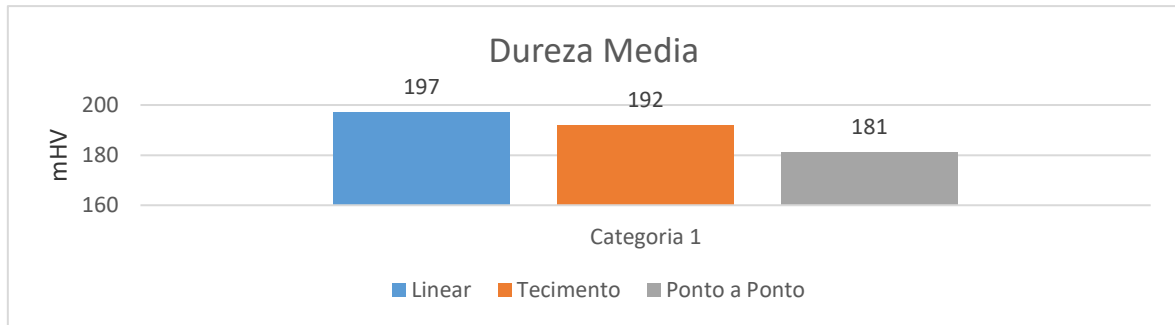


Gráfico 6: Gráfico que apresenta a média da microdureza na ZTA.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

8.2. Microestrutura

Com a análise feita em microscópio foi possível identificar o que cada cordão de solda afeta na microestrutura do material de uma forma diferente, notável que ambos formaram carbonetos alinhados e aumento dos grãos.

Devido as altas temperaturas e ao resfriamento a ar, ocorreu um acúmulo de tensões na microestrutura, cada cordão tendo uma diferença notória.

Essa conclusão foi obtida com a análise das figuras abaixo, nestas imagens é possível verificar a Solda, ZTA e Material base

Com base na análise das figuras abaixo, obtivemos a seguinte conclusão:

- Cordão de solda Linear: Devido ao seu modo de aplicação tivemos aumento de grãos e também uma formação de carbonetos alinhados que nos mostra um acúmulo de tensão na ZTA.
- Cordão de solda Tecimento: Devido ao seu modo de aplicação, tivemos aumento de grãos e também uma formação de carbonetos alinhados que nos mostra um acúmulo de tensão na ZTA em uma quantidade maior do que apresentou na Linear
- Cordão de solda Ponta a Ponto: Devido ao seu modo de aplicação tivemos aumento de grãos e também uma formação de carbonetos alinhados que nos mostra um acúmulo de tensão na ZTA em uma quantidade maior do que os cordões anteriores.

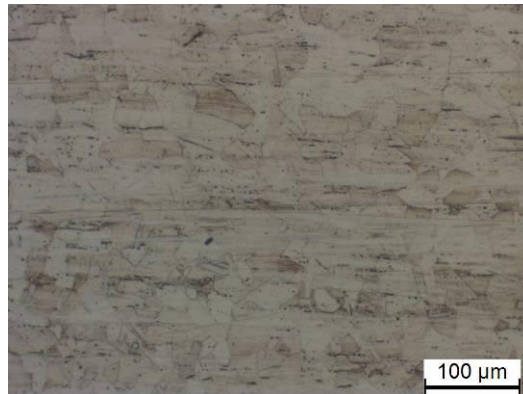


Figura 7: Microestrutura do material base

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

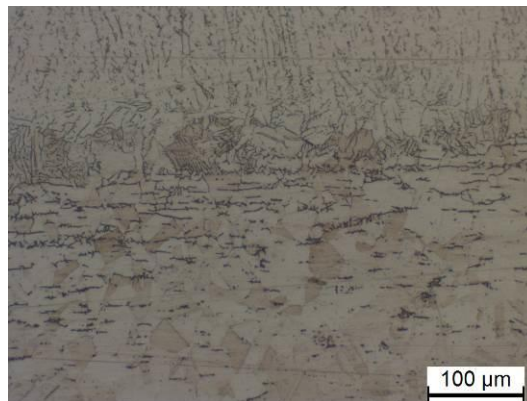


Figura 8: Microestrutura na ZTA no cordão de solda Linear

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

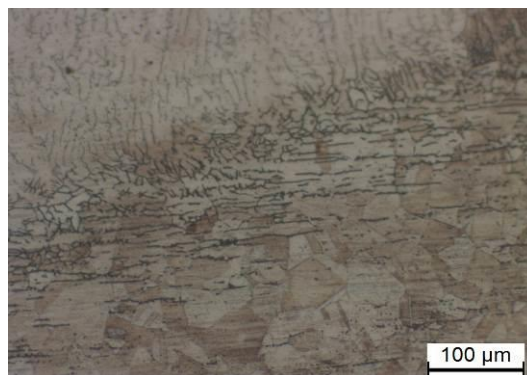


Figura 9: Microestrutura na ZTA no cordão de solda Tecimento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

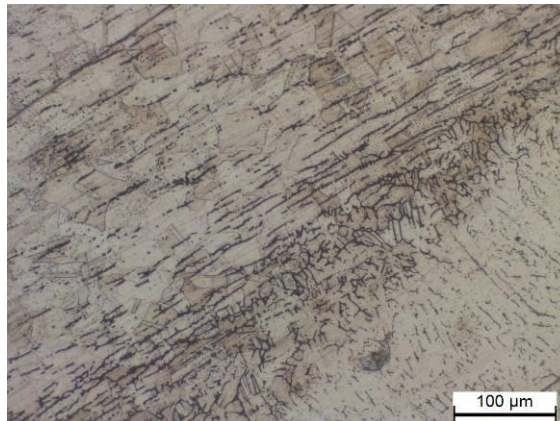


Figura 10: Microestrutura na ZTA no cordão de solda Ponto a Ponto

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

8.3. Macrografia

Com a análise feita através da macrografia foi possível notar falta de fusão, ou seja, tendo pontos onde o material de adição não chegou a se fundir com o material base, deixando assim alguns pontos com porosidade no cordão de solda.



Figura 10: Macrografia Cordão de Solda Linear

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.



Figura 11: Macrografia Cordão de Solda Tecimento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.



Figura 12: Macrografia Cordão de Solda Tecimento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

9. REFERENCIAS

Biglia, Felipe M. **ANÁLISE DO CORDÃO DE SOLDA NO PROCESSO DE SOLDAGEM DE CALDEIRAS A VAPOR**. Virtual Books. 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8986/1/GP_COEME_2016_1_02.pdf. Acesso em 20 out. 2019, 10:05:20.

ESAB. **Apostila de Metalurgia da Soldagem**. Virtual Books. 2005. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostilametalurgiasoldagem.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2019, 17:30:46.

Marques, Paulo V. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009 (3ª edição).

SENAI. **Soldagem**. São Paulo: Editora SENAI, 2013.

SOUZA, S. A. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2000. (5ª edição).

10. ANEXOS

Período da pesquisa

Atividades	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Revisão bibliográfica	Ok				
Pesquisa de campo		Ok			
Desenvolvimento da pesquisa			Ok		
Análise da pesquisa				Ok	
Relatório final					Ok

Tabela 2: Período de Pesquisa
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019