**ANÁLISE DA UNIÃO DE AROS E DISCOS DE RODAS AGRÍCOLAS DO AÇO 1010 PELO PROCESSO DE SOLDAGEM ARCO SUBMERSO.**

Resumo

As rodas agrícolas é um dos itens mais importantes dos veículos fora de estrada. As rodas por sofrerem altíssima cargas no seu trabalho no campo, são superdimensionadas, passam por diversos testes de em laboratórios de última geração. Objetivo desse trabalho foi analisar corpos de provas da união do disco ao aro no processo de solda de arco submerso, submetendo os mesmos ensaios de dureza e macrografia. Os resultados apresentados estatisticamente revelaram diferenças de dureza nas regiões do metal de base, na zona termicamente afetada e zona fundida, foi demonstrado que com a adição do metal de solda bem superior ao aço SAE 1010 tornou o material dissimilar a ponto de aparecer um descontinuidade na região próximo a solda, foi verificado também falta de simetria da região soldada levando ao aparecimento da trinca. Pode-se entende que o atual trabalho deverá auxiliar um novo processo de soldagem ou melhoramento do atual.

**Palavras-chave:** roda de aço agrícola, aço SAE 1010, arco submerso

**Área do Conhecimento: (e**ngenharias)

**ABSTRACT**

Agricultural wheels is one of the most important items of off-road vehicles. The wheels are very heavy in their work in the field, are oversized, undergo several tests in state-of-the-art laboratories. The objective of this work was to analyze specimens of the union of the disc to the rim in the submerged arc welding process, submitting the same hardness and macrography tests. The results presented statistically revealed hardness differences in the base metal regions, in the thermally affected zone and the molten zone, it was demonstrated that with the addition of the weld metal far superior to SAE 1010 steel made the material dissimilar to the point of discontinuity in the surface region near the weld, it was also verified lack of symmetry of the welded region leading to the appearance of the crack. It can be understood that the current work should help a new welding process or improvement of the current one.

**Keywords**: agricultural steel wheel, SAE 1010 steel, submerged arch

**Introdução**

O processo de fabricação de uma roda, geralmente são feitas de duas matérias-primas principais: aço ou ligas leves. Opta-se pela roda de aço na maioria dos casos, pois esta oferece maior resistência a um custo menor, tornando-a a melhor escolha devido ao seu custo benefício. Os mais usados são os aços 1010, 1015 e os aços 1020, apesar da quantidade de carbono se baixa, porém permite um endurecimento por deformação para aumentar sua resistência, já que o grande problema nos processos de estampagens são as trincas radiais nos orifícios (ASM, 1996).

Os aços de baixo carbono ou vem tomando espaço desde os anos 1990, com variados tratamentos térmicos por resfriamento ou aumento de dureza por deformação (OKAMOTO, 1997).

Porém deve-se observar que nestes materiais linhas de distensão, que neste caso deve-se prever por meio de ensaios de tração nas regiões específicas do escoamento do material no gráfico gerado, para tanto novamente das as deformações à frio ajuda atenuar essas características (DIETER, 1981).

Algumas empresas de produção de rodas identificam que são necessárias 22 operações de fabricação, sendo duas etapas de soldagem uma para unir como costura na formação do arco e no final na emenda dos aros, que neste caso pode ocorrer a maioria dos problemas (LITTLEDUCK).

As rodas automotivas podem ser classificadas com câmera ou sem câmara, por meio das imagens da figura 1 podem ser visualizadas a fabricação de rodas com e sem câmaras. Imagem (a) representa a fabricação das rodas sem câmaras. Antes de tudo as matérias primas envolvidas são muito importantes para o sucesso da fabricação entender os processos de base, as chapas inicialmente são laminadas e, portanto, verificar as condições e características do processo ajuda muitos para entender eventuais defeitos. O processo de fabricação de rodas sem câmaras possui basicamente 23 operações, resumidamente são: corte do “blank”, decapagem, neutralização, dobramento ou calamdragem, achatamento das pontas do “blank”,, soldagem topo, retiradas da rebarba do processo de soldagem por centelhamento, estampo para conificar, laminação dos aros (laminação 1, 2 e 3), repuxamento ou expansão do aro, estampagem do rebaixo para assentamento da válvula, furação do furo de válvula para a passagem da válvula, remoção da rebarba do furo da válvula do aro. Para o processo de fabricação da roda com câmara as etapas são parecidas, tais como, corte da platina, normalmente feito em plasma, repuxamento da platina, corte na faceadeira, puncionamento do furo central e de fixação, puncionamento do furo de ventilação, cunhagem do furo para evitar a concentração de tensão, repasse da planicidade, escareação e chanfro, usinagem e acabamento final e soldagem do aro no disco.

**Figuras 1** - Imagens do processo de fabricação de rodas automotivas.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
|  |  |
| (c) | (d) |

**Fonte:** Os Autores (2019)

**Materiais e Métodos**

O modelo de roda agrícola de aço SAE 1010 estudado foi o MW23X38”, tem por processo a aplicação de solda na parte externa do aro onde precisa ser de forma dupla, pois garante a união do aro e a penetração no discos, por questões de segurança e qualidade a parte soldada não deve haver continuidades ou defeito, pois o mesmo implicará em vazamento de ar comprimido. Com aplicação da dupla soldagem chega-se a garantia de se ter a mesma dureza do aro e a vedação do disco. O material do presente estudo são da de uma rodas ultragrande para veículos agrícolas utilizado em colheitadeiras, pulveritriz , semeadoras individuais e múltiplas, vagões basculante, adubadeiras, descompactadora, vagões forrageiro, niveladora, carreta graneleira, segadeira, veículos agrícolas e tratores, essa roda tem dimensão tais como, diâmetro: 24.0~90.0”, largura: 6,1m, espessura da chapa de aço: 16 mm. Esssas rodas têm capacidade de levantar ou arrastar de 9.072kgf a 610mm. A imagem da figura 2 mostra a bobina do arame de soldagem, as composições químicas dos arames utilizadas no trabalho e também as propriedades mecânica do arame.

Por meio da imagem da figura 3 pode se observado uma roda soldada com a descontinuidade da solda apresentada. Foi observado através da sequência contínua do processo de fabricação da roda, após algumas etapas a existência de não conformidades ou variabilidades de acordo com padrões pré-definidos. Foram analisados por macrografia vários corpos de provas no ponto da união do disco e aro pelo cordão de solda.

**Figuras 2 –** Arame de soldagem e as composições químicas.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 1. Bobina do metal de adição | 1. Composição química do metal de adição |
| (c) | |

**Fonte**: Os Autores (2019)

**Figura 3 -** Imagem da descontinuidade da solda na roda.

****

**Fonte:** Os Autores (2019)

Foram analisadas na solda medidas de dureza Brinell para verificar as varrições da soldagem do metal de base, ZTA e zona fundida. Por meio da figura 4 a seguir pode ser visualizado as regiões onde foram feitas as análises de dureza.

**Figura 4 -** Regiões medidas por dureza Brinell.

|  |
| --- |
|  |

**Fonte:** Os Autores (2019)

**Resultados**

Através das imagens macrográficas da figura 5 pode ser observado a sequência do processo de soldagem, pela espessura das rodas é necessário o chanframento em “v”, foram feitas dois passes, sendo o primeiro até a superfície da peça e o segundo sobrepondo a superfície. Por meio da segunda imagem pode ser observado a zona fundida a formação das dendritas orientadas para dentro da solda de certa forma simétricas, já na segunda amostra com o preenchimento a zona fundida não mais apresenta os grãos colunares tão nítido. Isto pode ter ocorrida pelo sobre passe da soldagem, fazendo com que a taxa de resfriamento fosse menor.

**Figuras 5 –** Imagens da sequência do processo de soldagem.

|  |
| --- |
|  |

**Fonte:** Os Autores (2019)

Ainda analisando a terceira imagem pode ser observado duas medidas de dureza uma no metal de base e outra na zona fundida, pode ser observado uma diferença de quase trinta Brinell, isto pode ter ocorrida talvez pela morfologia das estruturas, ou seja, a zona fundida pode apresenta grão colunares ou dendríticos apesar de ficado com menos evidência macrográfica. Um outro fator seria a composição química dos materiais adicionados sendo que é de prática sempre soldar com metal de deposição superior ao metal de base, seja por dureza ou composição.

Analisando a composição dos materiais envolvidos, o aço 1010 se trata de um aço carbono com baixo carbono e com elementos endógenos. Por si próprio se trata de um aço de baixa dureza e dúctil. Com relação aos materiais depositados sua composição química é bem diferente, o carbono do arame era um pouco superior ao 1010, porém pode ser observado a presença de outros elementos como cromo, molibdênio e níquel, além da quantidade de manganês ser mais elevado do que o metal de base. Esse arame então, apresenta elementos exógenos que altera a estrutura original do metal de base. Baseando-se da diferença de dureza medida nas duas regiões esse elemento influenciaram bastante no processo.

Os elementos de ligas alteram as propriedades dos aços em qualquer situação, seja, na fundição, na conformação mecânica e na usinagem, cada elemento combinado ou não com pequenas concentrações mudam o comportamento dos aços perante os processos de fabricação. O silício é adicionado nos processos de fabricação dos aços para ajudar no processo de desoxidação sendo assim formam sílicas e até silicatos que podem prejudicar nos processo de conformação mecânica e na soldagem pela ausência do oxigênio no processo forma apenas os silicatos, essas inclusões que pode ser considerado como cerâmico ajudam a endurecer o material e ajuda a retardar a velocidade de resfriamento. O cromo apesar da pequena quantidade confere na junção dele com o carbono dureza ao aço e resistência a corrosão, um outro fator desses elementos é retardar a formação da austenita e consequentemente favorecer a formação da ferrita, isto muito por conta das barreiras que os carbetos fazem no crescimento dos grãos, refinando o aço. No segundo passe utilizou-se do arame com maior quantidade de cromo, esses elementos são considerados um elemento alfagênico favorecendo a formação de resfriamento mais lento.

Um outro elemento que pode ser considerado como endógeno e se utilizado como dessulforante passa a ser exógeno seria o manganês, este elemento dependendo da quantidade confere algumas propriedades aos aços tais como aumento da resistência conforme a deformação, por exemplo, quanto mais se encrua mais endurece. O manganês forma um composto junto ao enxofre, chamado de sulfeto de manganês, ele ajuda no processo de lubrificação no contato da ferramenta de corte com a saída do cavaco na hora da usinagem. Além de tudo isso, ele é considerado junto ao níquel que também esta presente na composição do arame um elemento gamagênico, ou seja, eles ampliam o campo da austenita e restringe o campo da ferrita.

No entanto, para que isso tudo aconteça seria necessário que a relação de MnS fosse superior a 4 para sua própria existência. Em se tratando de um aço efervescente tal como o 1010 a quantidade de oxigênio é maior pelo farto não passar pelo processo de segundo refino ou desoxidação, podendo correr o risco perante o sulfeto de manganês formar as chamadas inclusões “duplex”, esses defeitos são apresentados por meio de ponto pretos na peça. O prejuízo destes defeitos seria principalmente perante uma deformação já que os “duplex” são silicatos monofásicos ou óxidos multifásicos. Toda essa discussão foi para tentar entender a diferença em Brinells do metal de base e da zona fundida.

Sendo assim, foi proposto uma maior quantidade de medidas de dureza para uma melhor análise, a tabela 01 mostra os valores das medidas de dureza da região soldada e do metal de base e também a estatística, onde o X é média e DP desvio padrão.

**Tabela 1 -** de medidas de dureza e análise estatística da peça soldada

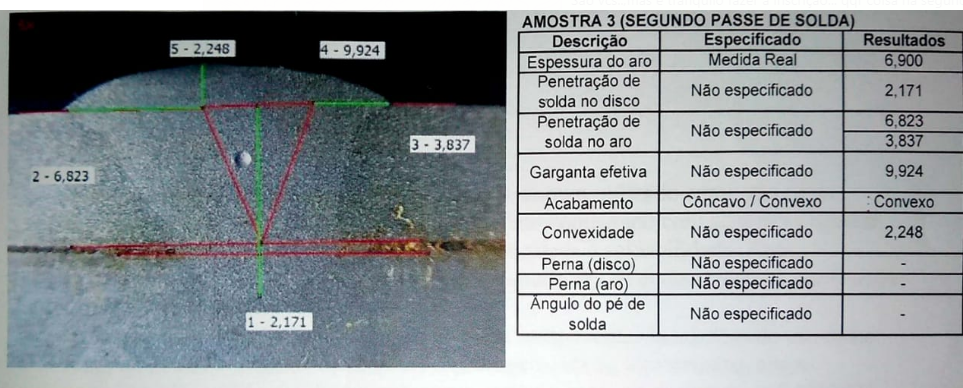
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dureza Brinell | | | | | | | | | | Análise estatística | | | | | |
| 108 | 100 | 105 | 103 | 110 | 139 | 142 | 144 | 141 | 135 | XT | XMB | XS | DPT | DPMB | DPS |
| 140 | 133 | 137 | 142 | 144 | 105 | 105 | 103 | 101 | 102 | 123 | 104,2 | 139,6 | 18,4 | 3,04 | 3,5 |

**Fonte:** Os Autores (2019)

A medida “XT” representa a média total, com as medidas da região da solda ela ficou superior, porém o desvio padrão “DPT” se demonstrou alto. A média do metal de base ficou como esperado, acompanha as ligas de ferro carbono com essa percentagem baixa, já a média da região da solda ficou bem superior acompanhando a dureza da única medida da macrografia da figura 3 anterior. No entanto o valor estatístico a ser observado foi com relação ao desvio padrão da medida da região da solda, “DPS” ficando em torno de 3,5 superior a medida do metal de base. Isto pode ser explicado, pois as medidas passam pela ZTA e pela zona fundida deixando os valores diferente. As medidas que foram analisadas na zona termicamente afetada foram duas os valores de 142 e 144 Brinell, são os maiores valores medidos desde o metal de base e a zona fundida. Isto pode ser justificado pois a ZTA é uma região de transição entre o metal de base e da zona de fusão. Nesta região a microestrutura se mostra por uma composição de transição de um material ferrita mais perlita para as fases dendríticas de perlita e martensita dados pelo resfriamento mais rápido. Quase em todos os matérias metálicos as ZTA se apresentam com dureza maior, neste sentido isto era esperado.

Por meio da imagem da figura 6 pode ser visualizado as regiões da solda por uma análise geométrica. Pode ser observado a falta de simetria entre na região soldada. Pode ser observado a região de separação da solda e do metal de base, demonstrando a dificuldade da diluição. A duas linhas horizontais abaixo da imagem identifica a descontinuidade apresentado no processo de soldagem fazendo visualmente a reprovação. A trinca apresentada ficou mais evidente no lado direito da imagem, acompanhando a falta de simetria e falta de fusão maior no lado direito pode ter intensificado o tamanho da descontinuidade. Pode ser observado também pelo lado direito uma região termicamente afetada maior. Este defeito geométrico pode alterar na hora da solidificação as tensões envolvidas, pois na hora contração térmica as direções das componentes de forças resultam em maior concentração para uma dada região, formando de certo modo uma “alavanca”.

**Figura 6** - Análise geométrica da solda.

****

**Fonte:** Os Autores (2019)

**Conclusão**

Pode ser concluído no trabalho desenvolvido que o aço em questão utilizado para fabricação de rodas agrícolas muda sensivelmente na região soldada pelo processo a arco. Pode observar a medidas de dureza aumentar sensivelmente em torno de 30% na região termicamente afetada e que a dureza apresentada na ZTA ficou também em torno de 7% superior a zona fundida. Foi analisado que possivelmente os elementos de liga pela composição e propriedade mecânicas podem ter salientado as diferenças.

Por meio das análises estatísticas pode analisar que o desvio padrão das medidas na região da solda ficou superior a metal de base, isto pode ter sido ocasionado pelo processo de soldagem, pela natureza dos materiais envolvidos, pela zona de transição e pelo processo de resfriamento. Quanto ao processo de resfriamento e intervalo de soldagem entre os passes não foi fornecido estes dados pois passa por processo de sigilo da empresa doadora do projeto e peça, portanto, já que não foi observado isto n processo de soldagem deduz aqui pelo resultado da macrografia que a temperatura era um fator importante no processo de soldagem, pois a energia do sistema muda a velocidade de resfriamento das peças, logo pode alterar a formação da morfologia das fases apresentadas.

O trabalho pode evolui com o tempo, poderá ser feito uma análise metalográfica por microscopia ótica e varredura, se fará uma análise de fratura das peças soldadas para se ter a resistência a deformação e impacto das junções, deverá ser analisado o processo de soldagem para evite a falta de diluição e para que não ocasione a falta de simetria da solda, poderá ser analisado a taxa de resfriamento, para verificar a necessidade de pré-aquecimento e pós-aquecimento da junta, tudo isto pode com esse trabalho convencer a empresa responsável da montagem da roda para modificação e evolução.

**Referências**

ASM Handbook, *Forming and forging*, V. 14,1996, Printed in the United States of America, 2110p.

OKAMATO, A., *Sheet Steel Products and their Application Technology for Automotive Uses, The Sumitomo Search*, n0 59, Sep., 1997. p. 3 -11.

DIETER, G. E. *Metalurgia Mecânica*, 2ª Edição, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981, 653 p.

LITTLE DUCK. **Processo de fabricação de aros para rodas de aço.** Disponível em: <http://wheelrimmaking.com/profile/wheel-manufacturing/199771/0/>. Acesso em 22 de agosto de 2019.