

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAL DA SOLDA HÍBRIDA TIG-MAG EM AÇO SAE 1020

José Mário Carvalho da Silva¹
Victor Martins Ferreira da Luz²
Vitor Dalarmelino Borges³
Wilson de Paula⁴

Resumo (ou Abstract, ou Resumen):

O objetivo deste trabalho é analisar as propriedades mecânicas e microestrutural do processo automatizado de soldagem híbrida TIG - MAG, com a tocha TIG à frente da MAG, comparando os resultados aos processos operados isolados e com o material sem solda. Os testes foram executados depositando cordões de solda sobre chapas de aço SAE 1020 com espessura de 1/4", sem chanfro, com espaçamento entre as peças de 1 mm e realizado solda em ambos os lados. Para o experimento foi estabelecido uma velocidade máxima de soldagem de 4,7 mm/s e ajustados os parâmetros para cada processo de soldagem. Foram realizados testes de dureza HRB, Charpy-V e análise microestrutural, sendo fabricado cinco corpos de prova para cada ensaio. De acordo com os resultados obtidos o aço 1020 sem solda demonstrou maior quantidade de energia absorvida no ensaio de Charpy-V e menor dureza. Para os processos de soldagem, o MAG possuiu maior quantidade de energia absorvida no ensaio de Charpy-V e maior dureza HRB que os outros processos de acordo com os parâmetros adotados. A análise microestrutural possibilitou verificar a formação de uma estrutura parcialmente esferoidizada e o surgimento de ferrita acicular e primária em todos os corpos de provas soldados.

Palavras-Chave (ou Keywords, ou Palabras Clave): Solda híbrida TIG-MAG; Aço 1020; Propriedades mecânicas; Análise de microestrutura.

MECHANICAL AND MICRO-STRUCTURAL PROPERTIES ANALYSIS OF TIG-MAG HYBRID WELDING SAE 1020 STEEL

Abstract (Ou Resumo):

The objective of this work is to analyze the mechanical and microstructural properties of the TIG - MAG automated hybrid welding process with the TIG torch ahead of MAG, comparing the results to the isolated and soldered operated processes. The tests were performed by depositing weld beads on SAE 1020 steel sheets with a thickness of 1/4 ", without chamfer, with spacing between the pieces of 1 mm and made weld on both sides. For the experiment a maximum welding speed of 4.7 mm / s was established and the parameters were adjusted for each welding process. HRB, Charpy-V and microstructural analysis were performed, and five specimens were fabricated for each test. According to the results, 1020 solderless steel showed higher amount of energy absorbed in the Charpy-V test and lower hardness. For the welding processes, MAG had the highest amount of energy absorbed in the Charpy-V assay and higher HRB hardness than the other processes according to the parameters adopted. The microstructural analysis made it possible to verify the formation of a partially spheroidal structure and the appearance of acicular and primary ferrite in all bodies of welded tests.

Keywords (ou Palavras-Chave): TIG-MAG hybrid welding; Steel 1020; Mechanical properties; Microstructure analysis.

¹ Graduação (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA – Centro Universitário, Brasil). mariocarv77@gmail.com

² Graduação (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA – Centro Universitário, Brasil). victormartinsdaluz@hotmail.com

³ Graduação (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA – Centro Universitário, Brasil). vitor-d-borges@hotmail.com

⁴ Mestre (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA – Centro Universitário, Brasil). wilpasil@bol.com.br

1. Introdução:

Atualmente o processo de soldagem, pelo motivo de ser simples e econômico, é amplamente utilizado para unir componentes metálicos [1]. A soldagem é considerada o mais importante processo industrial de fabricação de peças metálicas [2]. Diversos setores utilizam esse método de fabricação, destacando as áreas automobilística, naval, aeronáutica, hidroelétricas e indústrias petrolíferas. Este método de fabricação tem se tornando uma importante alternativa para diminuir de forma considerável o peso estrutural e garantir um menor tempo de fabricação, se comparado a outros métodos de união de materiais [3].

A combinação de processos de soldagem consiste em aliar diferentes tipos de soldagem, para que, operem simultaneamente em uma mesma poça de fusão. Essa combinação de processos é denominada de solda híbrida e tem sido utilizada desde a década de 70, este método surgiu devido a necessidade de possuir fontes de energia que teriam uma capacidade maior aumentando a produtividade. A união de dois ou mais processos de soldagem convencionais busca atingir resultados que não seriam alcançados em processos isolados [4].

Conjugando os processos TIG (Tungsten Inert Gas) e o MAG (Metal Active Gas), as vantagens são um arco elétrico concentrado e um cordão de alta qualidade na TIG e uma alta taxa de deposição e qualidade de acabamento do cordão através do processo MAG. Ao se realizar a soldagem híbrida, com a tocha de solda TIG à frente da MAG, pode-se alcançar penetração, área, largura e altura de reforço relativamente maiores, se comparado aos processos isolados. Esses fatores são determinados devido ocorrer um preaquecimento ocasionado pela tocha TIG [3].

Este trabalho possui o objetivo de analisar as propriedades mecânicas e microestrutural do processo automatizado de soldagem híbrida TIG - MAG, com a tocha TIG à frente da MAG, comparando os resultados com os testes realizados em corpos de prova de aço SAE 1020 sem solda e soldados através dos processos TIG e MAG isolados.

2. Referencial teórico

2.1. Processo de soldagem híbrido

O grupo de processos de soldagem a arco elétrico pode ser dividido em duas vertentes, os processos em que o eletrodo não é consumível, destacando o TIG, e os quais os eletrodos são

consumíveis, evidenciando o processo MIG/MAG. Esses grupos se opõem nos quesitos de produtividade e geometria da solda [5].

Na combinação TIG-MAG, geralmente se usa uma tocha TIG a frente ocasionando uma poça de fusão e posteriormente a tocha MAG surge finalizando o processo realizando o preenchimento, ou seja, o processo consiste em um aquecimento ocasionado pelo arco voltaico TIG e abertura de uma poça de fusão de modo que se alcance maior penetração enquanto o processo MAG deposite material de forma eficiente [6].

Através do estudo de Meng [7], pode-se afirmar que com a combinação de dois processos de arco elétrico é possível dobrar o desempenho, pois ocorre aumento de penetração da solda, oferece maior controle sobre a zona termicamente afetada e é possível ter maior velocidade de soldagem, aliando esses fatores o resultado é um aumento de produtividade.

No estudo de Meng [7], para o processo de soldagem TIG-MAG em altas velocidades, foi analisado a influência dos parâmetros de soldagem em velocidade de soldagem, propriedades mecânicas e a aparência do cordão, concluindo que propriedades mecânicas das juntas soldadas e a velocidade de soldagem pode ser aumentada a medida que a corrente da TIG aumenta.

O estudo feito por Teixeira [3], com o processo TIG-MAG mostrou que ocorreu uma diferença ao se usar a tocha TIG para pré-aquecer o material base, mas de acordo com os parâmetros adotados não houve estatisticamente uma diferença significativa entre o híbrido e o MAG isolado e que a distância entre as tochas também não apresentou influência no processo.

Para que ocorra uma influência significativa na penetração, a corrente elétrica da TIG deve ser maior que a corrente elétrica da MAG, com valor maior que 300 (A), pois valores inferiores mantinham a penetração da solda praticamente constantes. O aumento da distância entre a tocha e a peça faz com que o arco elétrico se torne instável e a variação dos ângulos entre as tochas não apresentou variação da geometria do cordão de solda [6].

Com a combinação destas duas vertentes de soldagem de arco elétrico, busca-se aliar as vantagens de cada processo, destacando a grande produtividade dos processos com eletrodo consumível e o controle da geometria do cordão de solda nos processos em que o eletrodo não é consumível [3].

2.2. Processo TIG

O processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), ou simplesmente TIG (Tungsten Inert Gas), tem a função de unir materiais metálicos por meio de fusão ocasionada por um arco elétrico existente entre um eletrodo, não consumível, de tungstênio e as partes a serem soldadas [2,3]. Os eletrodos podem ser puros, possuindo no mínimo 99,5% de tungstênio, ou conter uma porcentagem de outros metais ou óxidos em sua composição, tais como: tório, cério, lantânio, zircônio [8,9]. Este processo pode ser realizado com ou sem uso de metal de adição [2,3].

O equipamento necessário para soldagem TIG é composto por uma fonte elétrica, uma tocha de soldagem, que pode ser refrigerada a ar ou água, uma fonte de gás de proteção, um dispositivo para abertura do arco, cabos e mangueiras [3].

Nos processos em que o eletrodo não é consumível, a soldagem pode ser realizada sem material de adição, dependendo do material e do tipo de junta, ou com um tipo de alimentação manual ou automática, a velocidade pode admitir valores pequenos, igual a zero, até um limite superior, o qual é determinado pela potência do arco. Isso faz com que seja maior a atuação na geometria da solda, possuindo os detalhes característicos de penetração, largura do cordão e ângulo de molhamento [5].

Durante o processo, o eletrodo e a zona de solda são protegidos por um gás inerte, geralmente o argônio, mas pode ser usado misturas de gases inertes como o argônio e o hélio [2]. Em algumas situações é necessário o uso de gases não inertes, em pequena quantidade, misturados com o gás inerte [3].

2.3. Processo MIG/MAG

O processo de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) é um processo de soldagem por fusão, onde o arco elétrico é aberto entre um eletrodo consumível e a peça a ser soldada, o eletrodo é continuamente alimentado. A poça de fusão é protegida por um gás, ou mistura de gases, que pode ser inerte ou ativo, isso evita a contaminação da região de soldagem do meio ambiente. No uso de um gás inerte o processo é titulado de MIG (Metal Inert Gas) e quando o gás de proteção usado é ativo o processo é denominado de MAG (Metal Ative Gas) [2,9].

O grupo no qual o eletrodo é consumível apresenta uma maior produtividade devido a energia transferida possuir uma parcela oriunda do material do eletrodo, portando esta energia transferida as partes a serem soldadas não é originária apenas do arco elétrico. Contudo, a relação entre a taxa de fusão e a potência do arco elétrico pode se tornar um empecilho às características do cordão de solda [5].

Os gases comumente usados nas últimas décadas no GMAW (Gas Metal Arc Welding), são o argônio (Ar), o dióxido de carbono (CO₂) e o hélio (He), puros ou misturados entre si [10]. Quanto à transferência do metal existem basicamente quatro maneiras, e são eles: spray, curto-circuito, globular e pulsada. Cada modo possui características peculiares de transferência que dependem de parâmetros operacionais sendo eles nível de corrente e tensão do arco, polaridade, diâmetro e composição do eletrodo, composição do gás de proteção e comprimento do eletrodo [2].

No processo de adição de material por spray as principais características são uma velocidade de desprendimento das gotas bastante elevada e gotas com tamanho bastante pequeno. No modo de transferência por curto-circuito, o metal é transferido por contato direto entre o eletrodo e a poça de fusão, está relacionado com curto-circuito instantâneo, provocado entre a gota e a poça de fusão. No modo globular, a distância é suficiente para que a gota viaje através do arco elétrico sem a realização de curto-circuito. No método de transferência por arco pulsado existe uma variação da corrente entre um valor alto (corrente de pico) e um valor baixo (corrente de base). Neste último modo o desprendimento da gota ocorre na corrente de pico com características similares ao modo de transferência por spray [10].

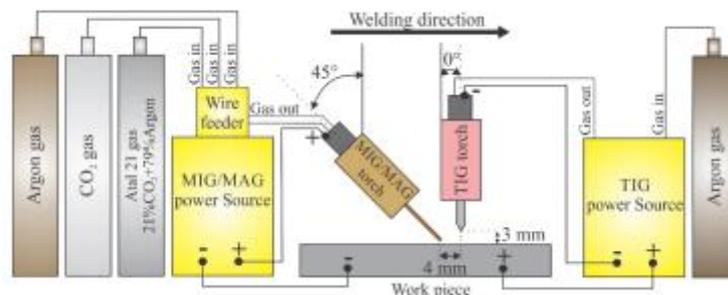
3. Materiais e métodos

3.1. Processo de soldagem

O experimento ocorreu similar ao demonstrado na Figura 1. A primeira etapa desse processo foi a preparação dos corpos de prova para a soldagem. Os corpos de prova usados foram fabricados de aço 1020 com 1/4" de espessura, cortados com o auxílio de uma serra Ronemak SR 250 VF, retirado rebarbas, escória e realizado limpeza para o procedimento de soldagem. A segunda etapa foi a soldagem dos corpos de prova, os equipamentos utilizados foram uma máquina de solda TIG ESAB TIG 500i CC/CV WARRIOR, uma máquina de solda MIG/MAG ESAB Smashweld 408 TOPFLEX, para a proteção gasosa de soldagem os gases utilizados foram, na TIG Argônio e na

MAG CO₂. No processo TIG foi utilizado eletrodo de Tungstênio com porcentagem de 2% Thório e diâmetro de 2 mm. No equipamento MAG foi usado um arame Esab de aço carbono e diâmetro de 1 mm.

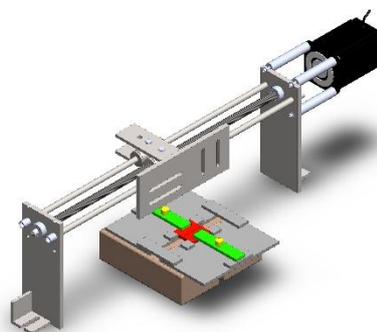
Figura 1 - Processo de soldagem TIG-MAG híbrido.



Fonte: [11].

Para o processo de soldagem foi projetado através do software SolidWorks e posteriormente confeccionado no Centro Tecnológico da UniEvangélica um dispositivo conforme ilustrado na Figura 2, para realizar o deslocamento das tochas de maneira automatizada, possibilitando uma velocidade contínua de soldagem de 4,7 mm/s. Este dispositivo é constituído por um motor Nema 34, um drive Lonys DM 680 A, um kit arudíno uno, 1 barra rosqueada de 5/8", dois guias lineares, duas bases de apoio, uma base gabaritada para fixação das tochas TIG e MAG e uma base móvel para fixação das peças a serem soldadas.

Figura 2 - Dispositivo de soldagem.



Fonte: Dos autores.

Para cada processo de soldagem foram fabricados 5 corpos de prova, sendo realizado solda de topo sem chanfro, em ambos os lados e com um espaçamento de 1 mm entre as partes e na

solda TIG não houve espaçamento. Primeiramente cada peça foi soldada em apenas um lado e após o término de todos os corpos de prova, foi realizada soldagem na outra face do material, após a conclusão ocorreu resfriamento em temperatura ambiente.

Com base nos estudos e testes realizados foram definidos os parâmetros a serem utilizados em cada processo de soldagem, realizando inspeção visual para verificar a qualidade da junta soldada. As tabelas 1, 2 e 3 relatam os parâmetros de maneira organizada para os processos MAG, TIG e TIG-MAG respectivamente.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na solda MAG.

Gás	Fluxo de gás MAG (L/min)	Tensão MAG (V)	Corrente (A)	Alimentação de arame MAG (m/min)	Distância do eletrodo para a peça	Ângulo da tocha
CO ₂	14	36	200	8	3	0°

Fonte: Dos autores.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados na solda TIG.

Gás	Fluxo de gás TIG (L/min)	Corrente TIG (A)	Distância do eletrodo para a peça	Ângulo da tocha
Argônio	18	190	3	0°

Fonte: Dos autores.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados na solda TIG-MAG.

Corrente TIG (A)	Corrente MAG (A)	Tensão TIG-MAG (V)	Alimentação de arame MAG (m/min)	Distância do eletrodo TIG para a peça	Distância entre as tochas (mm)
185	165	23	8	3	4

Fonte: Dos autores.

O ângulo da tocha, gás e fluxo de gás listados nos processos TIG e MAG foram mantidos para o processo híbrido. Devido a limitação de velocidade de soldagem em 4,7 mm/s, a redução das correntes de soldagem foi necessária para que o processo híbrido apresentasse boas características no cordão de solda.

3.2. Preparação dos corpos de prova para os testes

Após realizado o processo de soldagem, os corpos de prova foram segmentados na direção transversal de soldagem, com o auxílio de uma cortadora metalógrafa Pantec modelo Pancut 100. Foi realizada inspeção visual para verificar a qualidade da solda e retirado amostras para realizar os

ensaios de dureza, impacto charpy e análise de microestrutura. Em cada ensaio foram utilizados corpos de prova de aço 1020 sem solda e amostras soldadas através dos processos TIG, MAG e híbrido TIG-MAG.

3.3. Análise microestrutural

Para o ensaio de análise microestrutural foram retirados corpos de prova com as dimensões de 6x10x55 mm de cada peça soldada. Na etapa de polimento foi utilizado uma máquina de polir Pantec modelo Polipan 2D e lixas convencionais à prova d'água com granulometria crescente de 240, 320, 400, 600, 1200, 1500 e 2500. Buscando evitar uma superfície irregular para melhor análise e sempre girando a amostra em 90° após o final do polimento em cada lixa, buscando homogeneizar a face a ser estudada e reduzir a quantidade de riscos [12].

Com o polimento finalizado, foi realizado o ataque químico com Nital 3%, durante aproximadamente 7 segundos e posteriormente retirado o excesso utilizando álcool etílico 96%. A Figura 3 mostra os corpos de prova após o ataque químico. Para a verificação da microestrutura dos corpos de prova, foi utilizado um microscópio óptico Pantec modelo MK 100 e um computador com o software para captura de imagem IS Capture.

Figura 3 – Corpos de prova após ataque químico.



Fonte: Dos autores.

3.4. Dureza

Para o ensaio de dureza foi utilizado o método Rockwell na escala B, com base na norma ABNT NBR NM ISO 6508-1 [13], utilizando um durômetro DIGIMESS, modelo Time Vardness Tester TH 130, ilustrado na Figura 4, as amostras possuíam as dimensões de 10x6x55 mm, sendo realizado cinco medições de dureza em cada amostra. De acordo com a norma utilizada, para evitar que o encruamento, ocasionado pela deformação realizada no momento de medição influenciasse nos resultados de outras medições, as marcações não foram realizadas próximas.

Figura 4 - Ensaio de dureza.



Fonte: Dos autores.

3.5. Impacto

O ensaio de impacto foi realizado baseado na norma ABNT NBR ISO 148-1 [14], que determina para o corpo de prova a dimensão padrão de secção quadrada de 10 mm de lado e comprimento de 55 mm, podendo ser feito corpo de prova subsequente de 7,5, 5 ou 2,5 mm de largura. Os corpos de prova utilizados nesse ensaio foram usinados em uma fresadora universal ALEMAK modelo X6325C SHP 380V, para que possuíssem as dimensões de 10x5x55 mm. Posterior a usinagem foi realizado o entalhe em cada amostra e o teste de impacto em um equipamento Pantec, modelo JB-300B, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Equipamento para teste de impacto.



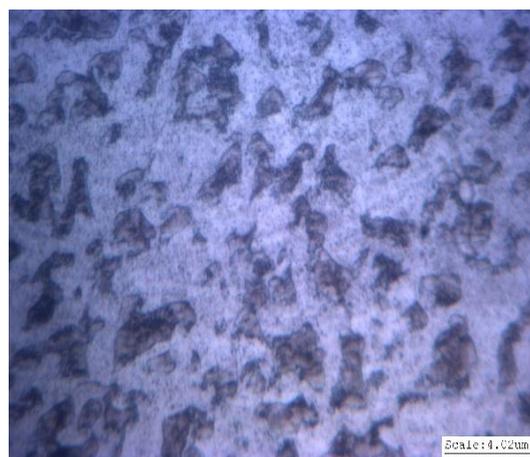
Fonte: Dos autores.

4. Resultados e discussões

4.1. Análise microestrutural

Pela Figura 6 observa-se a microestrutura do aço 1020 sem processo de soldagem e seus microconstituintes com grãos de Perlita nas fases escuras e grãos de Ferrita nas fases claras, sendo compatível com a especificação do material [12].

Figura 6 – Microestrutura do aço 1020, escala de 4,02um.



Fonte: Dos autores.

A Figura 7 mostra a microestrutura após o processo de soldagem MAG. De acordo com a Figura 7 observa-se que houve redução do tamanho dos grãos de perlita tornando-a parcialmente esferoidizada e também uma redução do tamanho dos grãos na fase ferrita e surgimento de ferrita acicular em determinadas regiões [12].

Figura 7 - Micrografia processo de soldagem MAG, escala de 4,02um.



Fonte: Dos autores.

Na Figura 8, é evidenciado a micrografia do corpo de prova soldado pelo processo TIG, sem material de adição. Pode-se observar também a redução do tamanho dos grãos de perlita e início de esferoidização. Devido a redução do contorno dos grãos da fase austenita, ocorreu a formação de ferrita primária e acicular [12].

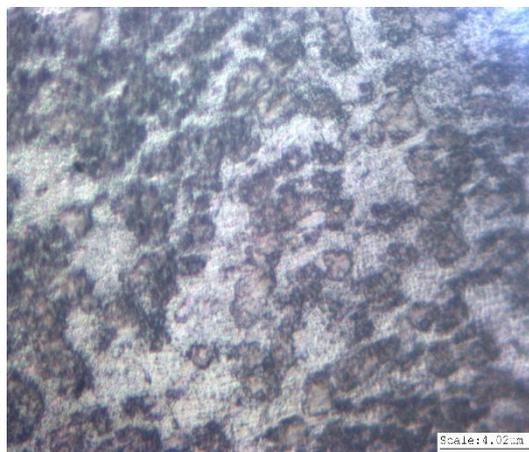
Figura 8 - Micrografia processo de soldagem TIG, escala de 4,02um.



Fonte: Dos autores.

A Figura 9 representa a microestrutura da amostra soldada pelo processo híbrido TIG-MAG. Verifica-se que ocorreu esferoidização dos grãos de perlita, tornando-os mais ordenados. Comparando com os outros processos de soldagem a fase de ferrita se apresentou mais visível.

Figura 9 - Micrografia processo de soldagem híbrido TIG-MAG, escala de 4,02um.



Fonte: Dos autores.

4.2. Ensaio de dureza

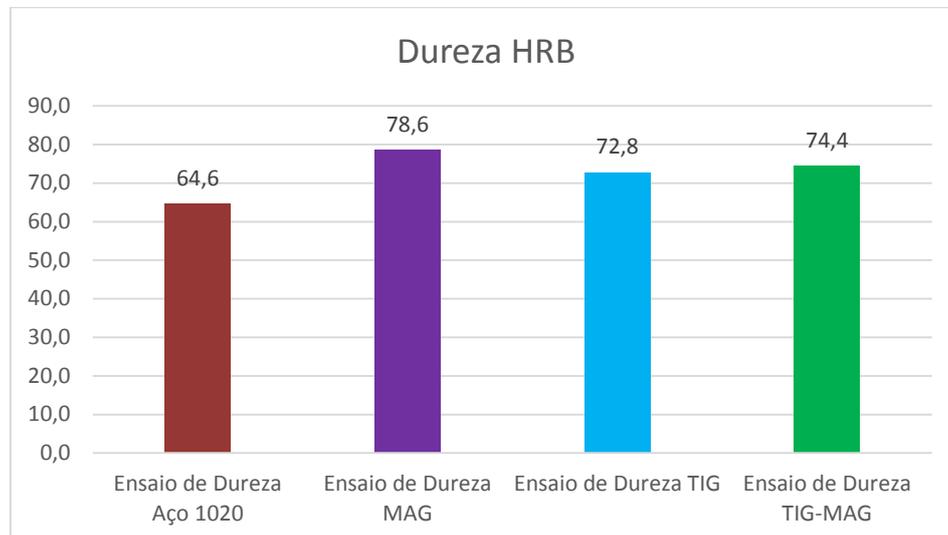
No ensaio de dureza realizado o aço 1020 sem solda apresentou o menor valor de HRB, isso ocorre devido a baixa concentração de carbono em sua estrutura e por ser um material bastante tenaz e dúctil, o processo de soldagem MAG apresentou a maior média de dureza seguido pelo processo híbrido e posteriormente o TIG. A quantidade de calor fornecida ao material durante o processo de soldagem ocasiona o aumento da dureza, diminuição de ductilidade e tenacidade, resultados comprovados no teste de dureza [12]. Os resultados dos testes foram organizados na tabela 4 e na Figura 10.

Tabela 4 – Médias dos testes de dureza HRB.

Aço 1020	MAG	TIG	TIG-MAG
64,6	78,6	72,8	74,4

Fonte: Dos autores.

Figura 10 - Ensaio de dureza Rockwell B.

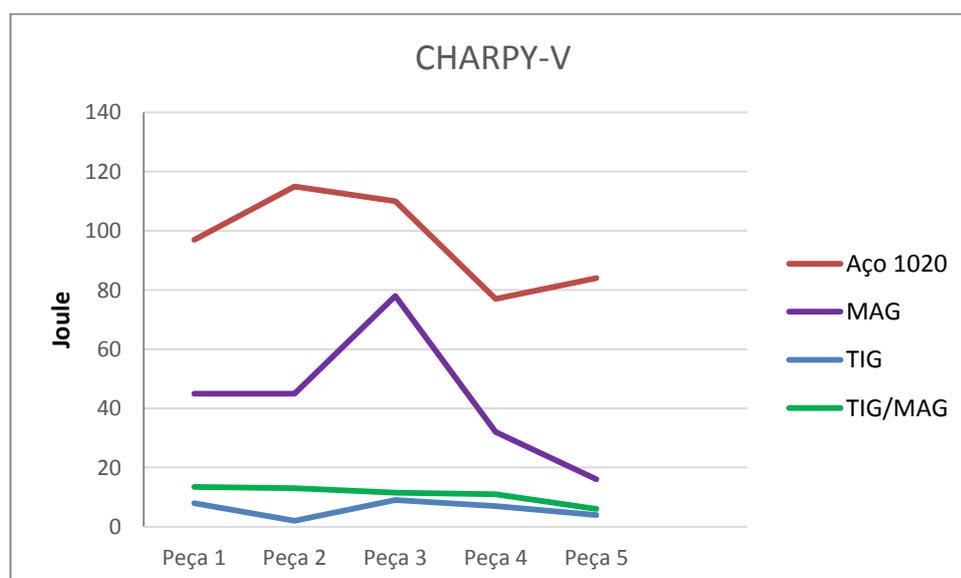


Fonte: Dos autores.

4.3. Ensaio de Charpy-V

O ensaio de impacto Charpy-V é bastante empregado para a análise de fratura frágil em metais. Consiste em um ensaio dinâmico, onde o resultado corresponde a uma quantidade de energia absorvida pelo corpo de prova até o instante em que ocorra a ruptura [15]. Os resultados dos testes foram organizados e ilustrados na Figura 11.

Figura 11 - Resultado do ensaio de impacto Charpy - V.



Fonte: Dos autores.

O ensaio demonstra que aços com baixo percentual de carbono apresentam boa ductilidade e tenacidade, possuindo o limite de escoamento menor que o limite de resistência. O aço 1020, por ser um aço bastante tenaz, apresentou uma maior quantidade de energia absorvida no ensaio, se comparado aos corpos de prova soldados [12].

O processo de soldagem TIG apresentou uma maior fragilidade ao ensaio de impacto, devido ocorrer apenas fusão da peça base no processo de soldagem e não possuir adição de material. O superaquecimento do material ocasiona, frequentemente, um ganho em propriedades de resistência como a dureza e a diminuição de propriedades como ductilidade e tenacidade, resultados comprovados nos processos de soldagem [12]. A Figura 12 demonstra amostras de cada corpo de prova TIG, TIG-MAG, MAG e aço 1020, respectivamente.

Figura 12 - Corpos de prova ensaio de Charpy.



Fonte: Dos autores.

5. Conclusões

De acordo com as tabelas e análises dos gráficos conclui-se que:

O método híbrido TIG-MAG permite maior velocidade de soldagem comparado aos processos operados isolados, por ser restrito a 4,7 mm/s a velocidade de soldagem, foi necessário reduzir os valores de corrente.

Dentre os processos de soldagem o MAG foi o que apresentou maior média de dureza e maior absorção de energia no teste de impacto, apresentando valores médios de 78,6 HRB e 43,2 Joules respectivamente.

Pelo fato de reduzir as amperagens no processo híbrido, as características e geometria do cordão de solda são modificadas influenciando diretamente nos testes realizados. De acordo com os parâmetros escolhidos o processo de soldagem híbrido e os testes realizados, o experimento apresentou diferenças em relação aos processos TIG e MAG operados isolados. Foi possível perceber a geometria dos cordões de solda dos corpos de prova e identificar que a penetração foi maior no material soldado através do processo híbrido, apesar de ter sua corrente reduzida.

Este trabalho possuiu grande importância para o estudo das propriedades mecânicas e microestrutural do método de soldagem híbrido em comparação aos processos isolados, atualmente muitos estudos nesse campo ainda estão em desenvolvimento.

Contudo, o esforço em explicá-los nem sempre é o bastante para explorá-los em toda a sua realidade, assim julga-se que o objetivo desse trabalho foi alcançado, porém, abrem-se perspectivas de novas investigações que estudos futuros possam explorar.

Referências

- [1] Okumura, T.; Taniguchi, C. Engenharia de Soldagem e Aplicações. 1a. ed. Rio de Janeiro – RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., 1982.
- [2] Modenesi, P. J.; Marques, P. V.; Santos, D. B. Introdução à metalurgia da soldagem. Minas Gerais; Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- [3] Teixeira, G.S. Análise Da Influencia dos Parâmetros de Soldagem Sobre a Geometria do Cordão de Solda Depositado pelo Processo de Soldagem TIG – MAG em TANDEM. Master's Thesis, Univ. Fed. do Rio Gd. do Sul – UFRGS 2011.
- [4] Messler, J.R.W. Whats Next for Hybrid Welding. Weld. J. 2004, 83, 30-34.
- [5] Oliveira, M.A. Desenvolvimentos no processo híbrido Plasma-Mig para operações de soldagem e brasagem. Ph.D Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Brazil, 2006.
- [6] Kanemaru, S.; Sasaki, T.; Sato, T.; Mishima, H.; Tashiro, S.; Tanaka, M. Study for TIG-MIG Hybrid Welding Process—Experimental Consideration for Optimum Torch Configuration. Q. J. Jpn Weld. Soc. 2013, 31, 18-21.
- [7] Meng, X.; Qin, G.; Zhang, Y.; Fu, B.; Zou, Z. High speed TIG-MAG hybrid arc welding of mild steel plate, J. Mater. Process. Technol., 2014, 214, 2417-2424.
- [8] Bracarense A. Q., Processo de Soldagem TIG-GTAW, Belo Horiz. Univ. Fed. Minas Gerais – Esc. Eng. Pós-graduação Eng. Mecânica, p. 44, 2012.

- [9] Machado, I.G. Soldagem em técnicas conexas: Processos. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/lstc/download/livrosoldagemetecnicasconexas/soldagemetecnicasconexasprocessos.html> (acessado em 30/11/2018).
- [10] Wainer, E.; Brandi, S.; Mello, F. Soldagem: processos e metalurgia. pp. 317–323, 1992.
- [11] Schneider, C.; Lisboa, C.; Silva, R.; Lermen, R. Optimizing the Parameters of TIG-MIG/MAG Hybrid Welding on the Geometry of Bead Welding Using the Taguchi Method. J. Manuf. Mater. Process., vol. 1, no. 2, p. 14, 2017.
- [12] Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderurgicos comuns. 4a. ed. [s.l.] Blucher, 2008.
- [13] ABNT NBR NM ISO 6508-1:2008. Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell, 2008.
- [14] ABNT NBR ISO 148-1:2013. Materiais metálicos – Ensaio de impacto por pêndulo Charpy, 2013.
- [15] SOUZA, S. A. Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos. 5 ed. reimpr. São Paulo: Blucher, 2014 .