

REPARO POR SOLDAGEM DE MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS SEM TRATAMENTO TÉRMICO POSTERIOR¹

Tafur P. Wilson²

Niño B. Carlos E.³

Resumo

Este trabalho foi direcionado ao estudo das melhores condições para realizar a soldagem durante a fabricação de moldes de injeção de plásticos, prescindindo do tratamento térmico posterior, de modo a obter características similares entre a região de solda e o metal de base, para responder uniformemente aos processos de polimento e texturização. As soldagens foram realizadas sobre aço AISI P20 pelo processo TIG, utilizando um arame dissimilar, AWS A5.28-96 ER 80S-B2. As técnicas multipasses de dupla camada e passe de revenido, foram otimizadas avaliando o efeito de revenimento produzido por um segundo ciclo térmico de soldagem, sobre o MS e a ZAC, através do ensaio de implante de cordão junto com soluções analíticas de transferência de calor calibradas computacionalmente a partir da determinação, por dilatométrica, da temperatura de transformação Ac_1 e a geometria desta isoterma numa solda com passe único. Usando energias iguais para todos os passes (8 kJ/cm), aplicando uma seqüência de deposição alternante com elevada sobreposição (ao redor de 70%) e um correto posicionamento dos passes de revenido, foram conseguidas superfícies polidas, espelhadas e texturizadas satisfatórias. Esta energia é suficiente para promover o revenimento da ZAC-GG produzida na primeira camada.

Palavras-chave: Aços para moldes de injeção de plásticos; Soldagem de reparo; Soldagem sem tratamento térmico posterior.

¹ 3º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes. 10-12 de agosto/2005 - São Paulo

² M. Sc. Eng. Mecânico, pesquisador do Labsolda/UFSC - Florianópolis - SC

³ Dr. Eng. Mecânico, professor do EMC-UFSC - Florianópolis - SC

1 INTRODUÇÃO

Os moldes para injeção de plásticos muitas vezes precisam ser reparados durante a fabricação, seja para corrigir erros na usinagem ou implementar mudanças no projeto do componente. Apesar de delicados e dispendiosos, os reparos por soldagem se justificam, em razão dos elevados custos de fabricação do componente e a necessidade de rápida disponibilidade do mesmo.

Geralmente é utilizado o processo de soldagem TIG, por permitir a deposição de material, sem respingos, de modo a obter as complexas geometrias do molde. Além do baixo custo, há características do processo TIG que conferem alta qualidade às soldas: pode ser aplicado manualmente, em locais de difícil acesso e em todas as posições. Procedimentos de soldagem especiais, são usados devido à alta precisão requerida e à função da superfície após a soldagem.

Nos moldes de injeção é preciso dar o acabamento à região reparada, de modo que a sua superfície seja similar à do resto da cavidade do molde, pois, do contrário, esses defeitos acabariam sendo reproduzidos na peça injetada. Frequentemente são feitos dois tratamentos superficiais nas cavidades do molde: o polimento e a texturização. O primeiro é feito mediante abrasivos, enquanto que o segundo é um ataque realizado com ácidos sobre a superfície previamente impregnada com resina de forma seletiva. Com o polimento pretende-se obter uma superfície brilhante, como a requerida para injeção de lentes plásticas. Com a texturização pretende-se gerar um relevo que vai ser transferido à peça plástica.

O elevado custo dos materiais e da usinagem para a confecção de moldes, com grande complexidade geométrica, justifica quase sempre o reparo de defeitos por soldagem, mesmo que seja difícil evitar os efeitos negativos da soldagem na qualidade da superfície submetida a posteriores tratamentos de polimento e texturização. Se não forem tomados cuidados na seleção e controle das condições de soldagem, será intensa a geração de tensões térmicas e tensões residuais, além das distorções dimensionais que estas produzem.

Uma das formas tradicionais de minimizar a fragilização e melhorar a uniformidade de resposta da peça no polimento e texturização, tem sido a aplicação de preaquecimento e de tratamentos térmicos pós-soldagem (TTPS). Contudo, os tratamentos térmicos são normalmente caros e demorados, não somente devido aos longos tempos de permanência de alívio de tensões, mas também pelas lentas rampas de aquecimento e resfriamento que se fazem necessárias.⁽¹⁾

Existe forte motivação técnica e econômica para desenvolver procedimentos de reparo por soldagem, particularmente aqueles sem TTPS, que garantam propriedades mecânicas aceitáveis e minimizem as distorções no componente com ótimo desempenho e, principalmente, minimizem os problemas apresentados nos caros tratamentos de polimento e de texturização.

1.1 Objetivos

Baseado nas considerações, o objetivo principal deste trabalho foi o de estudar as melhores condições para realizar a soldagem aço AISI P20 utilizando o processo TIG alimentado, prescindido do TTPS, de forma a conseguir que a região soldada não apresentasse diferenças de acabamento e relevo em relação ao metal de base, quando submetida a tratamentos de polimento e texturização.

1.2 Técnicas de soldagem sem tratamento térmico posterior

Com técnicas de reparo por soldagem sem tratamento térmico pós-soldagem, como a dupla camada e passe de revenido, pretende-se aproveitar o próprio calor do arco para tratar termicamente a ZAC do metal de base, de modo a se obter uma microestrutura adequada, que atenda os requisitos necessários para tratamentos posteriores e/ou para o serviço a que é destinado o componente soldado.⁽¹⁾ No caso específico dos aços para moldes de injeção de plásticos, pretende-se obter textura superficial uniforme em todas as regiões da solda.

A técnica de dupla camada utiliza um método controlado de deposição, de modo que a segunda camada promova o refino e a redução de dureza da ZAC gerada pela primeira camada de solda. A sua eficácia depende da correta relação de energias entre os vários passes de solda e, ainda mais, das condições de soldagem determinadas para os materiais de base e de adição específicos Henke et. al.^(2,9)

Os efeitos produzidos na ZAC da primeira camada pelo calor da camada seguinte são ilustrados na Figura 1. Normalmente considera-se para os aços ferríticos que numa faixa abaixo da isoterma Ac_1 ocorrerá revenido, entre as isotermas Ac_1 e Ac_3 refino parcial e revenido, entre a Ac_3 e aproximadamente $1100\text{ }^\circ\text{C}$ refino e acima de $1100\text{ }^\circ\text{C}$ crescimento de grão e retêmpera. Os parâmetros mais importantes para conseguir o refino e revenido de grãos grosseiros da primeira camada, é a penetração das isotermas (Ac_3 , Ac_1) da segunda camada de solda. Esses valores e a sua relação com as condições de soldagem podem ser estimados a partir de medidas realizadas em depósitos simples representativos de cada camada.^(2,3)

A técnica do passe de revenido consiste em posicionar o passe dito “de revenido” adequadamente em relação ao passe a revenir, de modo que a isoterma Ac_1 daquele coincida justamente com a linha de fusão deste último (como mostrado na Figura 1). Assim fazendo, a região reaustenitizada do passe a revenir seria metal de solda -o qual, em geral, não é susceptível de desenvolver elevada dureza-, enquanto que a sua ZAC poderia ser revenida ao ser reaquecida a temperaturas abaixo da faixa em que ocorre reaustenitização. Esta técnica é usada exclusivamente para revenir a ZAC-GG produzida no metal de base junto á superfície da peça.⁽³⁾

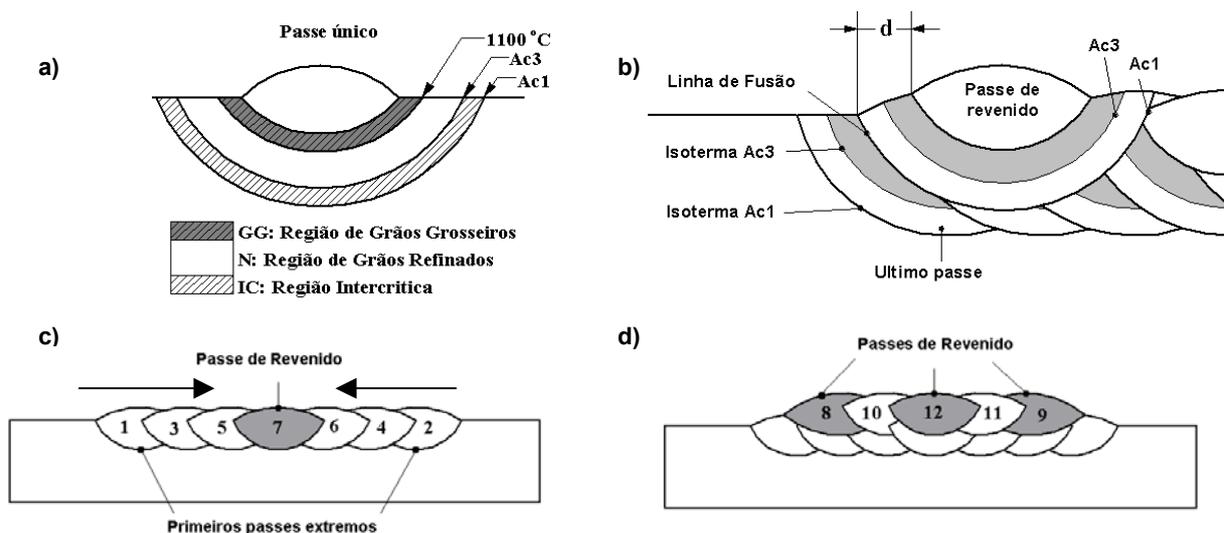


Figura 1. Técnicas da dupla camada e passe de revenido: a) nomenclatura; b) passe de revenido; seqüência de passes em camada única c) e dupla d)

Num trabalho sobre a soldagem de moldes de injeção,⁽⁴⁾ aplicando técnicas de soldagem multipasses com o processo TIG, é afirmando que para minimizar as variações de dureza entre os passes, estes devem ser depositados com um nível de sobreposição entre 60 e 80%. Isto é fundamental para minimizar as diferenças de relevo nas superfícies polidas ou texturizadas. Nesse trabalho é recomendado que os passes sejam feitos na seqüência correta, como é mostrado nas Figuras 1c e 1d. Dentro de cada camada, os primeiros passes devem ser depositados nos extremos da cavidade a reparar, e a seqüência vai alternando de lado, até chegar ao centro. Na segunda camada, os passes 8 e 9 são localizados a uma distância adequada para produzir o revenido das ZACs formadas pelos passes dos extremos da primeira camada. Isto corresponde à técnica do passe de revenido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios foi utilizado o aço AISI P20 (similar ao W.NR. 1.2738 da norma DIN), utilizado para fabricação de moldes de injeção de plásticos. Ele é fornecido no estado temperado e revenido, com dureza na faixa de 30 a 34 HRC. Foi utilizado um metal de adição dissimilar, o AWS A5.28-96 ER 80S-B2, que é um aço ao Cr-Mo. Na Tabela 1, são mostradas as composições químicas respectivas.

Tabela 1. Composição química (% em peso) dos metais base e de adição.

| Material | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | P | S | Cu | Al | Nb | Co | Ti | V |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MB ^(a) | 0,37 | 0,39 | 1,4 | 1,89 | 0,77 | 0,18 | 0,03 | 0,055 | 0,12 | 0,002 | 0,005 | 0,025 | 0,002 | 0,012 |
| MA ^(b) | 0,09 | 0,58 | 0,54 | 1,33 | 0,04 | 0,51 | 0,01 | 0,006 | 0,03 | - | - | - | - | - |

(a) Composições medidas através de espectrometria óptica.

(b) Composições fornecidas com certificado de qualidade do fabricante.

2.1 Depósito de Cordão Simples

A Tabela 2 mostra os parâmetros de soldagem adotados usando processo TIG mecanizado. As condições de processo foram primeiro selecionadas de acordo à experiências práticas feitas em aço AISI P20, usando CCC com pré-aquecimento de 225 ± 25 °C.⁽⁵⁾ Após depositado este cordão, sobre chapa de 25 mm de espessura, foram confeccionados dois CPs, um destinava-se à análise da microestrutura e medição de dureza no plano transversal ao cordão. O outro CP foi preparado para retificação, polimento e ataque químico convencionais.

Tabela 2. Condições do processo TIG.

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Corrente | 124 A |
| Tensão | 11 V |
| Velocidade de soldagem | 10 cm/min |
| Polaridade | CC- |
| Energia de soldagem | 10 kJ/cm |
| Potência de soldagem | 1300 W |
| Gás de proteção | Argônio; 12 l/min |
| Diâmetro do bocal | 10 mm |
| Eletrodo de W+ 2%ThO ₂ | diâmetro 2,4 mm, ângulo da ponta 60° |
| Comprimento do arco | 4 mm |
| Diâmetro do arame | 1,2 mm |
| Velocidade do arame | 0,5 m/min |
| Ângulo de alimentação do arame | 25° em relação à superfície da peça |
| Ângulo de incidência da pistola | 15° em relação à normal à superfície |

Os CPs para metalografia e dureza foram polidos com lixa de 13 μm e pasta de diamante de 3 μm . Depois foram atacados com solução de Nital ao 2%. Foram levantados perfis de dureza Vickers, com carga de 1 kg e espaçamento entre impressões de 0,2 mm, na direção transversal ao cordão, abrangendo o MS, ZAC e MB. A microestrutura foi avaliada através de microscopia óptica.

Foram realizadas macrografias da seção transversal das soldas usando uma lupa estereoscópica. As impressões de dureza facilitaram a localização das diferentes regiões da solda. As imagens digitais foram inseridas num software CAD, para realizar a medição das dimensões da ZAC do cordão de solda (penetração e largura da isoterma Ac_1).

2.2 Otimização e Aplicação de Técnicas Multipasses

Foi utilizado o ensaio de implante de cordão para comparar os efeitos de ciclos térmicos de soldagem para a otimização das técnicas de soldagem de dupla camada e passe de revenido, através da análise do efeito de revenimento imposto por um novo ciclo térmico de soldagem. Nesse ensaio, uma amostra cilíndrica do material sob estudo é inserida dentro de um orifício especialmente realizado numa chapa (do mesmo material, ou de outro), até ficar rente à superfície. Se a condutividade térmica da chapa for idêntica àquela do cilindro, este último sofre o mesmo ciclo térmico que a chapa quando se deposita sobre os dois um cordão de solda. Em consequência, todos os fenômenos associados com o ciclo térmico podem ser reproduzidos nessa amostra de pequenas dimensões (chamada de implante). A figura 2, mostra um esquema do ensaio.

Para a análise do efeito de revenimento é necessário determinar o campo de temperaturas de pico atingidas na soldagem. Este foi calculado através da solução analítica de Santos,⁽⁶⁾ para a transferência de calor que ocorre num sólido a partir de uma fonte de calor distribuída. Para isto, a partir da temperatura de transformação Ac_1 (determinada por dilatométrica) e a geometria desta isoterma (determinada mediante análise macrográfica e micrográfica do segundo passe no implante), foi feita a calibração das soluções analíticas de transferência de calor através do ajuste dos parâmetros da fonte de calor (eficiência térmica η e distribuição σ) resolvendo um problema inverso.

Foram usados dois aplicativos computacionais: um para determinar os parâmetros da fonte de calor em função de uma isoterma conhecida; e outro para determinar o campo de distribuição de temperaturas na solda, com base nas condições de soldagem e os parâmetros da fonte. Destes últimos foram extraídos os valores de temperatura de pico (T_p) para associá-los com os valores de dureza medidos sobre determinada região de solda (ZAC-GG e MS do primeiro passe no implante) reaquecida por um segundo ciclo térmico de soldagem (o segundo passe no implante). Assim, ter-se-ia o conhecimento do efeito de revenimento e a posição, respeito à isoterma Ac_1 , em que isto acontece.

Inicialmente, sobre uma chapa de 150x150x25 mm foi feito um sulco semi-circular com 2 mm de profundidade. No sulco foi depositado um cordão. Das chapas soldadas foram cortados, por eletro-erosão a fio, cilindros de 20 mm de diâmetro contendo na sua geratriz o cordão de solda (Figura 2a).

A Figura 2b mostra o esquema de extração destes cilindros. Estes cilindros foram posteriormente cortados em seções de 20 mm de comprimento, que foram embutidas com ajuste por interferência, em furos realizados em chapas de aço ABNT 1020 de 150x150x21 mm. Mostra-se, também, a deposição do segundo

passo de soldagem sobre cada cilindro inserido. Estes cordões foram feitos com soldagem TIG autógena usando duas energias (9,8 e 19,6 kJ/cm). Estes níveis de energia são: um igual e o outro o dobro, daquele usado no primeiro passo. Para obter estas energias, na fonte foram ajustados os valores da corrente de soldagem 124 e 248 A.

Os tarugos de implante, que ficaram unidos à chapa unicamente através do cordão de solda, foram removidos e depois seccionados por eletro-erosão a fio da seguinte maneira: a) Transversalmente ao segundo cordão de solda, para realizar macrografias do cordão e da ZAC e determinar o campo de temperaturas baseando-se na isoterma Ac_1 ; e b) Longitudinalmente aos dois cordões de solda, para efetuar as medições de dureza.

O efeito de revenimento produzido pelo segundo passo de soldagem sobre a solda previamente depositada com processo TIG autógeno, foi diretamente relacionado com o nível de energia usado no ensaio de cordão simples, feito com alimentação de arame, visando obter os resultados procurados com a soldagem multipasses. No implante, foi determinada a posição da ZAC produzida pelo segundo passo, onde ocorreria a maior queda de dureza no MS e ZAC do primeiro passo. A queda de dureza da ZAC-GG e MS foi medida, e indicada a sua posição em relação à isoterma Ac_1 , para caracterizar o efeito de revenimento.

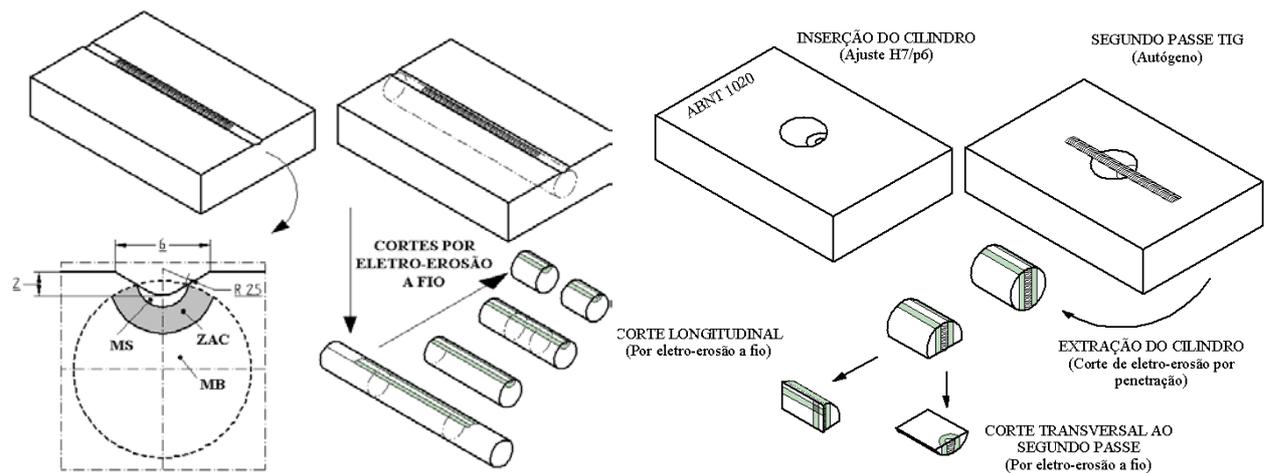


Figura 2. Esquema do ensaio de implante.

Sobre uma chapa de 150x150x25 mm foi usinado, um rebaixo de 1 mm de profundidade com largura de 25 mm e arredondamento nos cantos. No rebaixo, foi feito o depósito com a dupla-camada, como mostrado na Figura 3 à esquerda. Ao ser depositada a dupla-camada, foi aplicada também a técnica de passe de revenido (passes dos extremos, junto ao MB), usando a mesma energia de soldagem em todos os passes.

Todos os passes foram feitos sem pendulamento, com sobreposição de 50 % na primeira camada, mantendo a temperatura de pré-aquecimento e interpasse de 225 ± 25 °C. Foram feitos dois CPs, um com sobreposição 50% e outro com 66%. A posição do passe de revenido foi definida como a distância respeito ao pé do primeiro e último cordão, onde deve ser direcionada a ponta do eletrodo de tungstênio. Dita posição foi calculada através da simulação das soldas em ambiente CAD.

As placas soldadas foram cortadas retificadas, polidas e texturizadas. O tamanho dos corpos de prova foi de 90 x 45 mm, como indicado na Figura 3.

Para avaliar qualidade na textura das superfícies atacadas quimicamente foram feitas macrografias com 10X de aumento, com o intuito de observar as diferenças de profundidade de ataque.

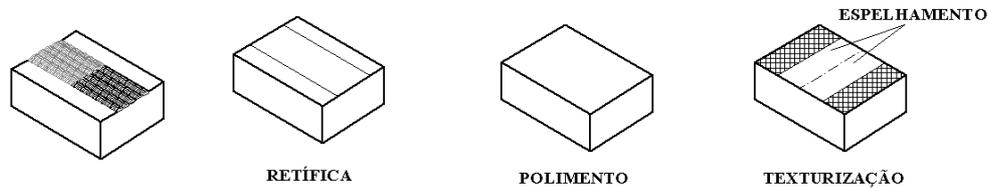


Figura 3. Corpo de prova para análise da soldagem multipasses.

3 RESULTADOS

Na Figura 4, podem ser observadas as características do cordão de solda, feito usando a energia suficiente para evitar a presença de trincas e com mínimas diferenças de relevo após a texturização. Mesmo nessa melhor condição, a solda em passe unido prejudicou a qualidade da superfície polida e texturizada com diferenças de relevo apreciáveis visualmente.

No MS e ZAC teve-se o material no estado temperado, com a martensita supersaturada em C e outros elementos de liga. No MB, devido ao tratamento de revenimento, ocorre a formação de carbonetos. Em função disso, para obter uniformidade na superfície tratada, é necessário promover o revenimento do MS e ZAC, o que poderia ser feito mediante um tratamento térmico convencional (com efeitos negativos sobre o acabamento superficial e a estabilidade dimensional) ou, então, mediante as técnicas de soldagem da dupla camada e do passe de revenido (3).

Os resultados, obtidos do corte transversal aos segundos passes do implante, são mostrados na tabela 3. Ali, a isoterma escolhida foi aquela com temperatura de pico igual a Ac_1 , que corresponde à transição entre o MB e a ZAC, porque está nitidamente delineada e porque pretendeu-se estudar o revenimento, que ocorre de forma mais intensa em temperaturas próximas de Ac_1 (Figura 5). Para o aço P20 a temperatura Ac_1 é 780 °C, segundo os ensaios de dilatométrica.

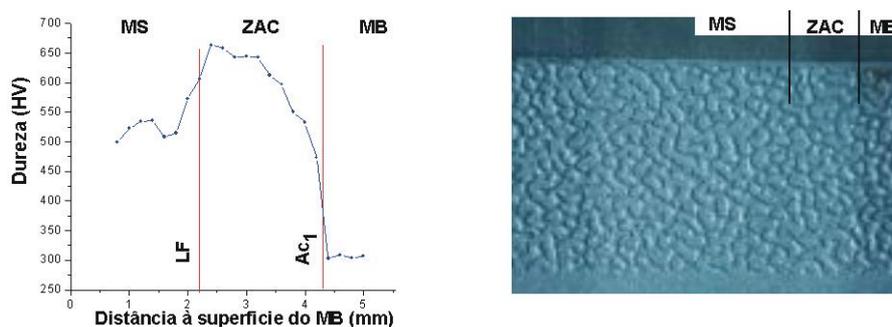


Figura 4. a) Perfil de dureza; b) Aparência da textura na região da solda.

Tabela 3. Parâmetros da fonte obtidos com base na isoterma Ac_1

| Energia | Parâmetros de soldagem | | | Dimensões da isoterma Ac_1 (mm) | | Parâmetros da fonte | |
|---------|------------------------|------------|-------------|-----------------------------------|---------|---------------------|---------------|
| | Corrente (A) | Tensão (v) | Vs (cm/min) | Penetração | Largura | η (adim) | σ (mm) |
| Baixa | 124 | 11,5 | 10 | 4 | 10 | 0,660 | 1,875 |
| Alta | 248 | 13,6 | 10 | 6,8 | 17,8 | 0,620 | 3,679 |

Na Figura 6 são mostrados os perfis de dureza do MS, ZAC-GG e MB (produzida pelo primeiro passe) em função da distância transversal ao segundo passe. Também é mostrada a curva das T_p atingidas no segundo ciclo de soldagem, usando as energias alta ($E= 20,23 \text{ kJ/cm}$, $\eta = 62 \%$) e baixa ($E= 8,62 \text{ kJ/cm}$, $\eta = 66 \%$). Na figura são indicadas as posições das isothermas Ac_1 e a LF, observadas nas macrografias. As durezas médias do metal de base, da ZAC-GG e do MS antes de sofrer um segundo aquecimento eram de 305, 660 e 600 HV, respectivamente.

Definindo como limite para o revenimento uma dureza final de 450 HV (arbitrada em função dos valores extremos observados antes e após o revenimento), foram determinadas as faixas de temperatura de pico em que acontece revenimento por efeito do segundo ciclo de soldagem (veja a Tabela 4).

Assumindo uma relação linear entre a energia e a profundidade das isothermas, a partir dos dados da Tabela 4, foram calculadas as posições dos limites da faixa de revenimento para o cordão depositado com alimentação do arame. Isto permitiu definir a aplicação das técnicas da *dupla camada* e *passo de revenido* para determinada energia. Neste caso, para um passe TIG autôgeno realizado com $7,81 \text{ kJ/cm}$, os locais que experimentam T_p de 600 e $770 \text{ }^\circ\text{C}$ ficariam a 4,1 e 5,6 mm da superfície, e Ac_1 ficaria a 3,8 mm.

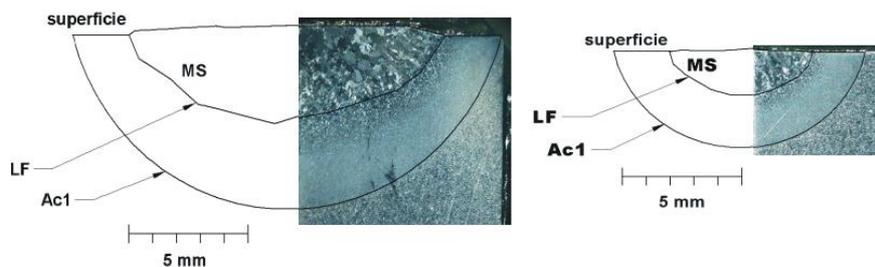


Figura 5. Macrografias de seções transversais ao 2º cordão de solda. Soldagem TIG autógena com alta e baixa energia.

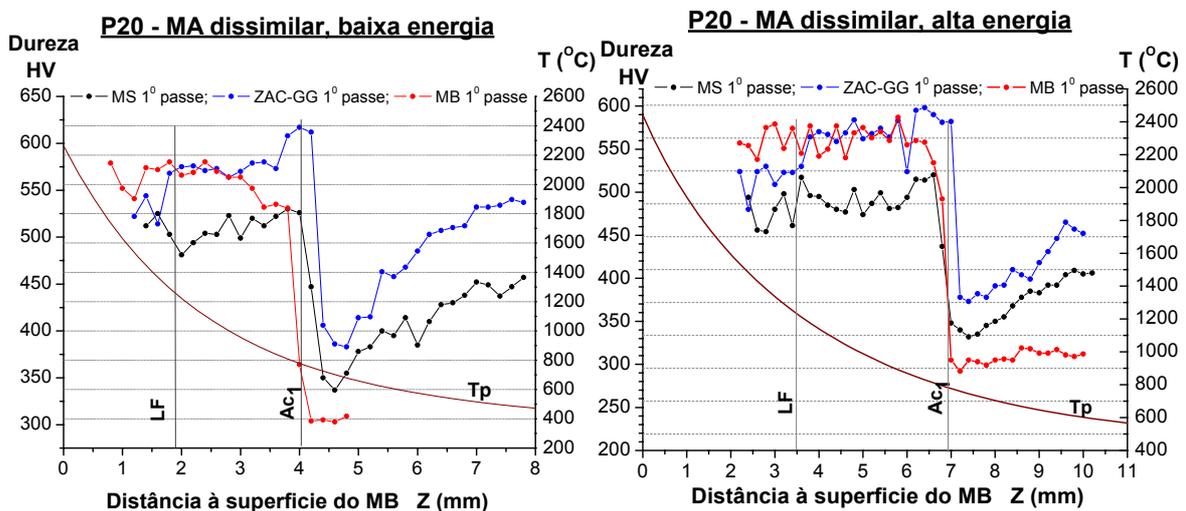


Figura 6. Perfis de dureza e Temperaturas de pico, atingidas com o segundo ciclo térmico de soldagem, sobre as regiões de solda do primeiro passe.

Tabela 4. Faixas de revenimento na ZAC-GG e MS do primeiro passe, produzidas por um segundo ciclo térmico de soldagem com alta e baixa energia.

| Energia | ZAC-GG 1º passe | | | MS 1º passe | | |
|---------|-----------------|------------|-----------------------------|-------------|------------|-----------------------------|
| | Dureza (HV) | Temp. (°C) | Distância à sup. do MB (mm) | Dureza (HV) | Temp. (°C) | Distância à sup. do MB (mm) |
| Baixa | 370-450 | 770-600 | 4,3 – 5,9 | 330-450 | 785-600 | 4,1 – 6,1 |
| Alta | 370-450 | 770-600 | 7,1 - 10 | 330-450 | 800-600 | 6,7 - 10 |

Com a simulação a escala dos passes de soldagem, no depósito de dupla camada com sobreposição 50% (Figura 7a) e observando o diagrama da Figura 6, se esperava obter zonas re-aquecidas acima da temperatura Ac1, do MS, que resultariam em durezas de 500 a 525 HV, e zonas da ZAC revenidas com uma dureza de 350 a 450 HV que variariam de forma alternada devido à baixa sobreposição dos passes (50%) na segunda camada. Caso de utilizar uma sobreposição de 66%, se esperava obter durezas na faixa de 350 a 450 HV em todas as regiões (Figura 7b). Os resultados obtidos na prática são mostrados na figura 8, os perfis de dureza correspondem aos efeitos do passe de revenido.

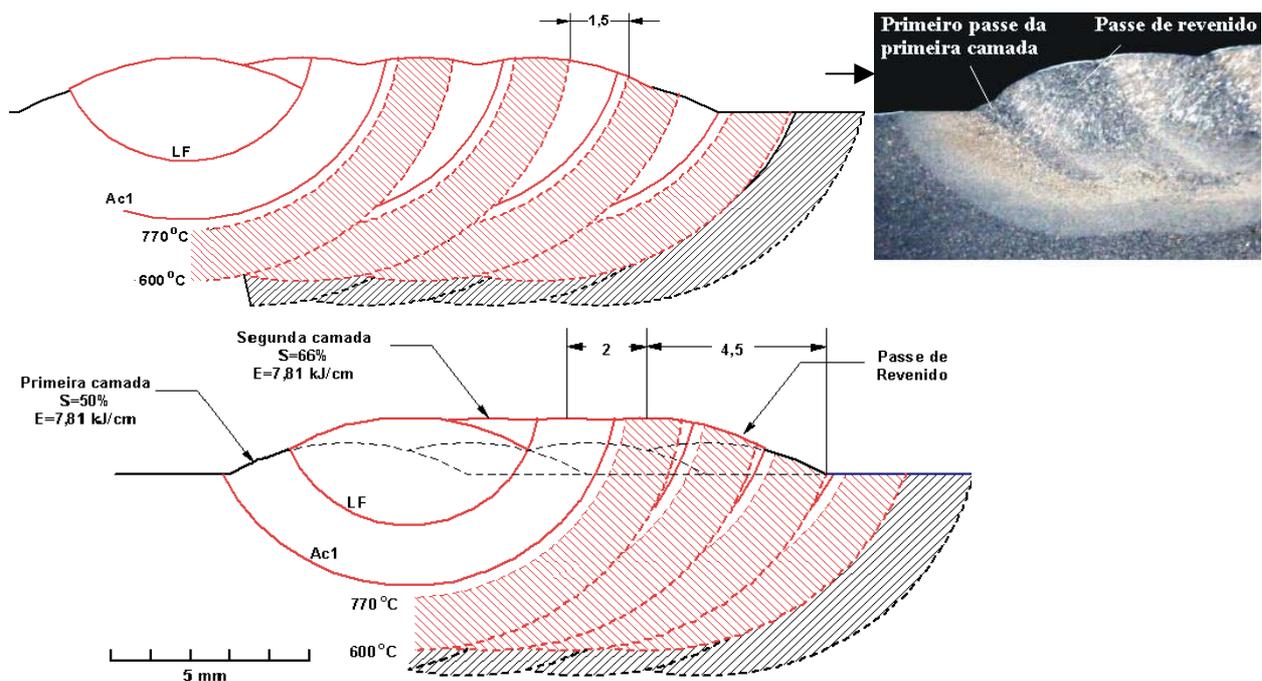


Figura 7. Macrografias de seções transversais ao 2º cordão de solda. Soldagem TIG autógena com alta e baixa energia.

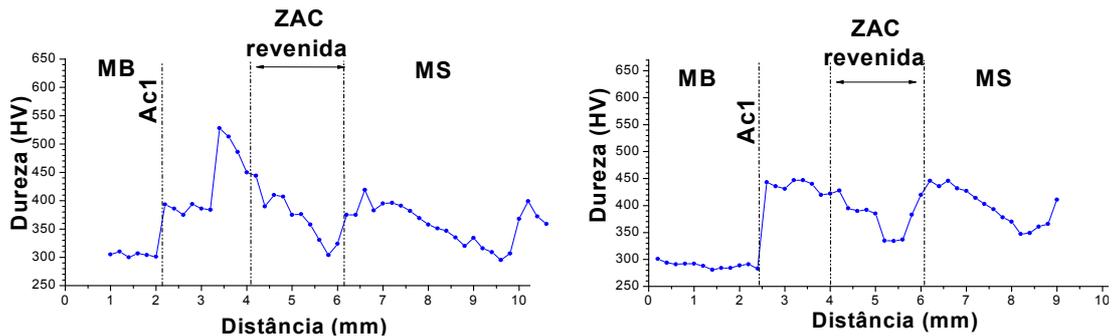


Figura 8. Perfis de dureza sobre os passe iniciais da primeira e segunda camada: a) com $S= 50\%$; b) com $S= 66\%$.

4 DISCUSSÃO

No aço P20, as regiões da solda produzidas por um cordão isolado apresentaram grandes diferenças de dureza (Figura 4). Para uniformizá-las, poderia ser realizado um TT. Entretanto, isso resultaria em mudanças dimensionais.

Mediante a aplicação da técnica de dupla camada e os passes de revenido usando uma alta sobreposição dos passes (ao redor de 70%), na seqüência de deposição proposta por Takagi⁽⁴⁾ e energias iguais para todos eles (8 kJ/cm), foram conseguidas superfícies polidas e texturizadas satisfatórias (Figura 8b). Esta energia é suficiente para promover o revenimento da ZAC-GG produzida na primeira camada. Por outro lado, na soldagem com sobreposição de passes igual a 50%, foi possível observar relevos alternantes sobre a superfície polida e a texturizada, como era esperado. O pico de dureza observado na Figura 8a, foi devido à dificuldade no posicionamento do passe de revenido. Para obter bons resultados, é necessário posicionar corretamente o passe, com tolerância de poucas décimas de mm, para o qual é mais adequada a aplicação da soldagem mecanizada.

5 CONCLUSÕES

Em temperaturas pouco abaixo da Ac_1 ocorre revenimento. Foi verificado que a queda de dureza depende, principalmente, da temperatura de pico atingida no segundo ciclo.

Para obter bons resultados na soldagem de moldes de injeção, é necessário posicionar corretamente o passe de revenido, e usar elevada sobreposição de passes na segunda camada na seqüência de deposição alternante usando sempre a mesma energia de soldagem (8 kJ/cm).

Deve ser explorada a possibilidade de usar uma maior temperatura de pré-aquecimento para verificar se de fato acontece uma diminuição das diferenças entre as regiões da solda e o metal de base.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais à CNPq pela bolsa de pesquisa concedida; às empresas Villares Metals, Krisma Ferramentaria, Böelher Thyssen Welding, Gravatools gravação em metal, Pyropolimentos e Desio Soldas, todas elas vinculadas ao setor ferramenteiro, pelo apoio e a prestação de serviços requisitados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BUENO, E. **Desenvolvimento do procedimento de soldagem do aisi 4140 sem tratamento térmico posterior.** 1999. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- 2 HENKE, S.L.; NIÑO, C.E.; BUSCHINELLI, A.J.A. Especificação de procedimentos de reparo por soldagem de aços martensíticos macios sem tratamento térmico posterior. In ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE SOLDAGEM, 26., 1988, Fortaleza. **Anais...** [S.l., s.n.], 1988.
- 3 NIÑO, C. E. **Especificação de procedimentos de reparo por soldagem sem tratamento térmico posterior: efeito de revenimento produzido pelos ciclos térmicos.** 2001. 172p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- 4 TAKAGI, R. Repair welding for plastic injection mold. **Tool Steels**, Tokio, v. 68, p. 95-104, 1997.
- 5 TAFUR, W. **Reparo por soldagem de moldes de injeção de plásticos fabricados em aços AISI P20 e P50.** 2005. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- 6 SANTOS, L.A. **Condução de calor na soldagem com pulsação térmica.** 2001. 205p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

*Tafur P. Wilson
Niño B. Carlos E.*

Abstract

This work aims to study the adequate conditions to perform the repair welding during the manufacturing of polymer injection molds, without heat treatment post-welding, in order to obtain similar performance of the welding zones and base metal in polishing and texturizing treatments. The welding were done on AISI P20 steel by TIG process, using a dissimilar filler metal, AWS A5.28-96 ER 80S-B2. The double layer and temper bead techniques were optimized by the assessing of tempering effect imposed by a subsequent pass, both metal weld and heat affect zone, by the bead implant test, along with heat transfer analytic solutions, calibrated for computer from the determination, by dilatometry, of transformation temperatures A_{c1} and its geometry in a weld bead. By using similar energy to all the passes (8 kJ/cm), an alternative deposition sequency with high overposition (around 70%) and a righth positioning of the temper beads, were possible to obtain satisfactory surfaces polished, mirroried and texturized. This energy is sufficient for promoting the tempering of the HAZ-GG in the simple layer.

Key-words: Steels for plastics injection molds; Repair welding; Welding without heat treatment post-welding.