

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta será disponibilizado somente a partir de 28/02/2021.

NILSON ANEAS FERRAZ

**Desenvolvimento de procedimentos para o reparo por solda do aço AISI P 20
utilizado em matrizes de injeção termoplástica**

Nilson Aneas Ferraz

**Desenvolvimento de procedimentos para o reparo por solda do aço AISI P 20
utilizado em matrizes de injeção termoplástica**

Dissertação apresentada ao Conselho de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelino Pereira do Nascimento.

Co-orientador: Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo.

Guaratinguetá - SP
2019

Ferraz, Nilson Aneas
F381d Desenvolvimento de procedimentos para o reparo por solda do aço
 AISI P20 utilizado em matrizes de injeção termoplástica / Nilson Aneas
 Ferraz – Guaratinguetá, 2019.
 90 f : il.
 Bibliografia: f. 87-90

 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá, 2019.
 Orientador: Prof. Dr. Marcelino Pereira do Nascimento
 Co-Orientador: Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo

 1. Aço de alta resistência. 2. Termoplásticos. 3. Soldagem. I. Título.

CDU 669.14(043)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

NILSON ANEAS FERRAZ

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof.^a Dr.^a Ivonete Ávila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO
Orientador / UNESP-FEG



Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS PEREIRA
UNESP/FEG



Prof. Dr. RAFAEL HUMBERTO MOTA DE SIQUEIRA
FATEC/Pindamonhangaba

DADOS CURRICULARES

NILSON ANEAS FERRAZ

NASCIMENTO 25.02.1989 – Pindamonhangaba / SP

FILIAÇÃO Devanil José Ferraz
Angela Aneas Gomes Ferraz

2012/2016 Formação acadêmica em Tecnologia Mecânica: Processos de soldagem
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba / SP.

dedico este trabalho
de modo especial, à minha família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Marcelino Pereira do Nascimento* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

ao meu co-orientador, *Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

aos meus pais *Devanil e Angela*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento;

aos funcionários e colegas da Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba pela dedicação e alegria no atendimento;

aos doadores dos materiais para a realização deste trabalho, *Fabiano Rodrigues, José Alves e colegas da PROTOS Ferramentaria LTDA, e GTP Gravações* pela dedicação e alegria no atendimento.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001."

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida.”

Goethe

RESUMO

Matrizes de injeção de termoplásticos são de elevado custo, o que requer atenção em sua fabricação e utilização. Durante a fabricação de uma matriz e ao longo de sua vida útil, erros processuais, tais como usinagem em lugar não exigido pelo projeto ou quebras de fechamentos das matrizes, podem inutilizá-la. Para o reparo dos moldes, geralmente é utilizado o processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*). Contudo, processos de soldagem em geral deixam marcas e ondulações no aço reparado que refletem na qualidade da resina termoplástica a ser injetada. Visando recuperar moldes de aço inutilizados, buscou-se realizar reparos de solda em que tais descontinuidades não apareçam. Este trabalho tem como objetivos apresentar as análises das alterações macro e microestruturais provenientes de reparos de solda aplicados no aço AISI P20 utilizado na fabricação de moldes. Para tanto, foram aplicadas duas condições de reparos: 1º) sendo as amostras “a”, “b” e “c”, soldagem com metal de adição dissimilar (AWS A5.18 ER 80s-b2) com e sem as aplicações de tratamentos térmicos pós-solda de recozimento, têmpera e revenimento, respectivamente, e 2º) sendo as amostras “d” e “e”, soldagem com metal de adição da mesma composição química (AISI P20) com tratamentos térmicos pós-solda de recozimento, têmpera e revenimento, respectivamente. Após, com os melhores resultados dos itens apontados anteriormente, foi feito em uma amostra de maior dimensão um reparo de solda seguido dos tratamentos térmicos e texturização fotoquímica, a fim de saber se haveria a possibilidade da presença de marcas de solda. Os resultados indicaram que a utilização dos tratamentos térmicos de recozimento, têmpera e revenimento alteraram a microestrutura das regiões soldadas, porém não deixaram marcas ou ondulações do metal de solda e da zona afetada pelo calor, aproximando a dureza dessas regiões à do metal-base. Com isso, pode-se concluir que os objetivos foram alcançados, pois achou-se entre as quatro condições mencionadas uma que apresentou uma solda onde não foi possível encontrar vestígios da mesma, mesmo com o ataque fotoquímico.

PALAVRAS-CHAVE: Reparo. Aço AISI P20. Matrizes de injeção de termoplásticos. TIG.

ABSTRACT

Thermoplastic injection molds are of high cost, which requires attention in their manufacture and use. During the fabrication of a die and over its useful life, procedural errors such as machining in place not required by the design or breakages of die closures may render it unusable. For the repair of the molds, the TIG (Tungsten Inert Gas) welding process is usually used. However, welding processes generally leave marks and undulations on the repaired steel which reflect on the quality of the thermoplastic resin to be injected. To recover unused steel molds, we sought to carry out weld repairs in which such discontinuities do not appear. The objective of this work is to present the macro and microstructural alterations from weld repairs applied to AISI P20 steel used in the manufacture of molds. In order to do this, two repair conditions were applied: 1) with samples "a", "b" and "c", welding with dissimilar addition metal (AWS A5.18 ER 80s-b2) with and without the applications of annealing, tempering and annealing, respectively, and 2 °), the samples being "d" and "e", welding with addition metal of the same chemical composition (AISI P20) with heat treatments after annealing of annealing, tempering and tempering, respectively. Then, with the best results of the previously mentioned items, a weld repair was done in a larger sample followed by thermal treatments and photochemical texturization, to know if there would be the possibility of the presence of weld marks. The results indicated that the annealing, tempering and tempering treatments altered the microstructure of the welded regions but did not leave marks or undulations of the weld metal and the zone affected by the heat, approaching the hardness of these regions to that of the base metal. With this, it can be concluded that the objectives were reached, as it was found among the four mentioned conditions one that presented a weld where it was not possible to find traces of it, even with the photochemical attack.

KEYWORDS: Repair. AISI P20 steel. Thermoplastic Injection plastic molds. TIG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo da estrutura da ZAC de um aço carbono	19
Figura 2. Curva CCT do aço AISI P20.....	23
Figura 3. Aço AISI P20 com alta (a) e baixa (b) taxa de resfriamento	24
Figura 4. Exemplo de um molde de injeção plástica e seus componentes	29
Figura 5. Textura em uma cavidade de molde.....	31
Figura 6. Caso do comportamento da solda de reparo realizada sem os procedimentos apontados neste trabalho.....	33
Figura 7. Equipamentos usados na soldagem TIG	35
Figura 8. Conceito de energia de soldagem.....	40
Figura 9. Regiões da poça de fusão	42
Figura 10. Esquema das reações esperadas na estrutura do material após o ciclo térmico	43
Figura 11. Crescimento epitaxial do grão.....	44
Figura 12. Estrutura final do grão conforme o aumento da temperatura.....	44
Figura 13. Velocidade de solidificação em função da porcentagem de soluto.....	45
Figura 14. Crescimento de grão na interface sólido/líquidos	46
Figura 15. Gota de fusão em alta velocidade de soldagem	46
Figura 16. Gota de fusão em baixa velocidade de soldagem.....	46
Figura 17. Exemplo do microscópio do durômetro de dureza Vickers	52
Figura 18. Rugosímetro	53
Figura 19. Exemplo de reflexão de luz com a influência de uma ondulação na superfície	53
Figura 20. Fluxograma dos métodos utilizados.....	56
Figura 21. Gráfico dos tratamentos térmicos realizados pelo fornecedor do aço	61
Figura 22. Gráfico do tratamento térmico de alívio de tensões realizado no experimento da 1ª condição, amostra “b”	61
Figura 23. Gráfico dos beneficiamentos térmicos realizados nas amostras do experimento da amostra “c” (primeira condição) e amostras da segunda condição.	62
Figura 24. Amostra soldada do experimento na primeira condição, amostra “a”	64
Figura 25. Amostras soldadas. As amostras do experimento na primeira condição, amostra “b” e “c” experimento, respectivamente	65
Figura 26. Ensaio de líquido penetrante.	65
Figura 27. Amostra “e”, experimento da segunda condição. Usinada (canal) sendo pré-aquecida (esq.) e após a soldagem e resfriada na manta térmica (dir.)	66

Figura 28. Amostra “b”, experimento da primeira condição, lixada (600 <i>mesh</i>) (b-1), polida (pasta diamantada 3 μ m) (b-2) e atacada com Nital 2% (b-3), na sequência, com aproximação de 3x.	67
Figura 29. Amostra “c”, experimento da primeira condição, lixada (600 <i>mesh</i>) (c-1), polida (pasta diamantada 3 μ m) (c-2) e atacada com Nital 2% (c-3), na sequência, com aproximação de 3x.	68
Figura 30. Amostra “d”, experimento da segunda condição, lixada (600 <i>mesh</i>) (d-1), polida (pasta diamantada 3 μ m) (d-2) e atacada com Nital 2% (d-3), na sequência, com aproximação de 3x.	69
Figura 31. Amostra “b” do experimento da primeira condição. MS e MB acima (100x) e MS e MB abaixo (500X). Ataque com LePera.	70
Figura 32. Amostra “c” do experimento da primeira condição. MB e MB-MS acima (100x) e MS abaixo (100X). Ataque com LePera.	71
Figura 33. Amostra “d” do experimento da segunda condição. MB e MB-MS acima (100x) e MS abaixo (100X). Ataque com LePera.	72
Figura 34. Amostra do experimento da primeira condição, amostra “c”. Região do MS (3000X). Ataque com nital 2%.	73
Figura 35. Amostra “d”, experimento na segunda condição. Região do MB (3000X). Ataque com nital.	74
Figura 36. Amostra “d”, experimento na segunda condição. Região do MS (3000X). Ataque com nital 2%.	74
Figura 37. Gráfico dos resultados do ensaio de dureza das amostras da primeira condição (“a”, “b” e “c”) e da segunda condição (amostra “d”). Do ponto 1 ao 3 se encontra-se o MS, Do ponto 4 ao 6 se encontra-se a ZAC e do ponto 7 ao 9 de encontra o MB.	76
Figura 38. Amostra “e” após o lixamento (600 <i>mesh</i>)	78
Figura 39. Amostra “e” após o polimento (<i>like mirror</i>)	78
Figura 40. Amostra “e”, experimento na segunda condição, após a texturização fotoquímica	79
Figura 41. Ensaio de rugosidade na amostra “e” do experimento da segunda condição.	79

LISTA DE EQUAÇÕES E CÁLCULOS

Equação 1. Aporte térmico	Erro! Indicador não definido.
Equação 2. Carbono Equivalente (Ceq)	41
Equação 3. Carbono equivalente total	41
Equação 4. Temperaturredade pré-aquecimento	41
Cálculo 1. Aporte térmico da soldagem para o experimento com a primeira condição, amostra “a”	58
Cálculo 2. Aporte térmico do terceiro experimento	58
Cálculo 3. Cálculos de pré-aquecimento das amostras do 2° e 3° experimento.....	59
Cálculo 4. Cálculos de pré-aquecimento da amostra do 4° experimento	59

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Componentes de um molde de injeção de termoplásticos	29
Quadro 2. Tipo de correntes e suas principais funções	36
Quadro 3. Aplicação segundo espessura, gás e corrente	37
Quadro 4. Especificações segundo tipo de arame de solda	38
Quadro 5. CC- Corrente contínua, eletrodo negativo CC+ corrente contínua eletrodo positivo e CA corrente alternada e ignitor de alta frequência	39
Quadro 6. Determinação da tempera de pré-aquecimento	41
Quadro 7. Composição química do aço AISI P20 e da vareta de solda	56
Tabela 1. Parâmetros e métodos adotados no trabalho	60
Tabela 2. Resultados do ensaio de dureza	77
Tabela 3. Ensaio de rugosidade na amostra do quarto experimento	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
CCT	<i>Continuous Cooling Transformation</i>
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FATEC	Faculdade de Tecnologia
GTAW	<i>Gas-Shielded Tungsten Arc Welding</i>
HRC	<i>Rockwell Hardness</i>
MB	Metal-base
MS	Metal de solda
NBR	Norma Brasileira Registrada
SAE	<i>Society of Automotive Engineers TIG</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UV	Radiação ultravioleta
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
ZAC	Zona afetada pelo calor

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	graus Celsius
Ceq	carbono equivalente
Ceq. Total	carbono total
L	comprimento
H	<i>heat input</i> (aporte térmico, “calor”)
I	corrente elétrica
η	eficiência do arco
Tf	tempera final
Tp	temperatura de pico
v	velocidade de soldagem
V	tensão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO	21
1.2	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	O AÇO AISI P20	22
2.1.1	Microestruturas do aço AISI P20.....	23
2.1.2	Influência dos elementos de liga	24
2.2	TRATAMENTOS TÉRMICOS	25
2.2.1	Alívio de tensões e recozimento pleno.....	25
2.2.2	Têmpera.....	26
2.2.3	Revenimento.....	27
2.3	MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS	28
2.3.1	Acabamentos	30
2.4	PROCESSO DE SOLDAGEM TIG.....	34
2.4.1	O arco elétrico do TIG	36
2.4.2	Consumíveis	36
2.5	METALURGIA DE SOLDAGEM	39
2.5.1	Fluxo de calor	39
2.5.2	Pré-aquecimento	40
2.5.3	Macroestrutura da solda de fusão.....	42
2.5.4	Solidificação da poça de fusão	43
2.5.5	Zona afetada pelo calor (ZAC).....	47
2.6	REPAROS DE SOLDA.....	48
2.6.1	REPAROS POR SOLDAGEM TIG	48
2.7	ANÁLISES METALOGRÁFICAS E MACROSCÓPICAS	50
2.8	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	51
2.9	ENSAIO DE DUREZA	51
2.10	ENSAIO DE RUGOSIDADE	52
3	MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1	MATERIAIS.....	55
3.1.1	O aço ferramenta	55
3.2	MÉTODOS	55

3.2.1	Corte e identificação das amostras e do metal de adição	55
3.2.2	Fluxograma	56
3.2.3	Procedimentos de soldagem	56
3.2.4	Ensaio de líquido penetrante	59
3.2.5	Beneficiamentos	59
3.2.6	Ensaio de dureza	62
3.2.7	Análise macro e microscópica.....	62
3.2.8	Texturização Fotoquímica	63
3.2.9	Ensaio de rugosidade.....	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1	SOLDAGEM	64
4.2	ANÁLISE MACROSCÓPICA.....	66
4.3	ANÁLISE DE MICROSCOPIA ÓPTICA	69
4.4	MEV	72
4.5	ENSAIO DE DUREZA	75
4.6	POLIMENTO (EXPERIMENTO NA SEGUNDA CONDIÇÃO)	77
4.7	TEXTURIZAÇÃO (EXPERIMENTO NA SEGUNDA CONDIÇÃO).....	78
4.8	ENSAIO DE RUGOSIDADE (EXPERIMENTO NA SEGUNDA CONDIÇÃO)	79
5	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

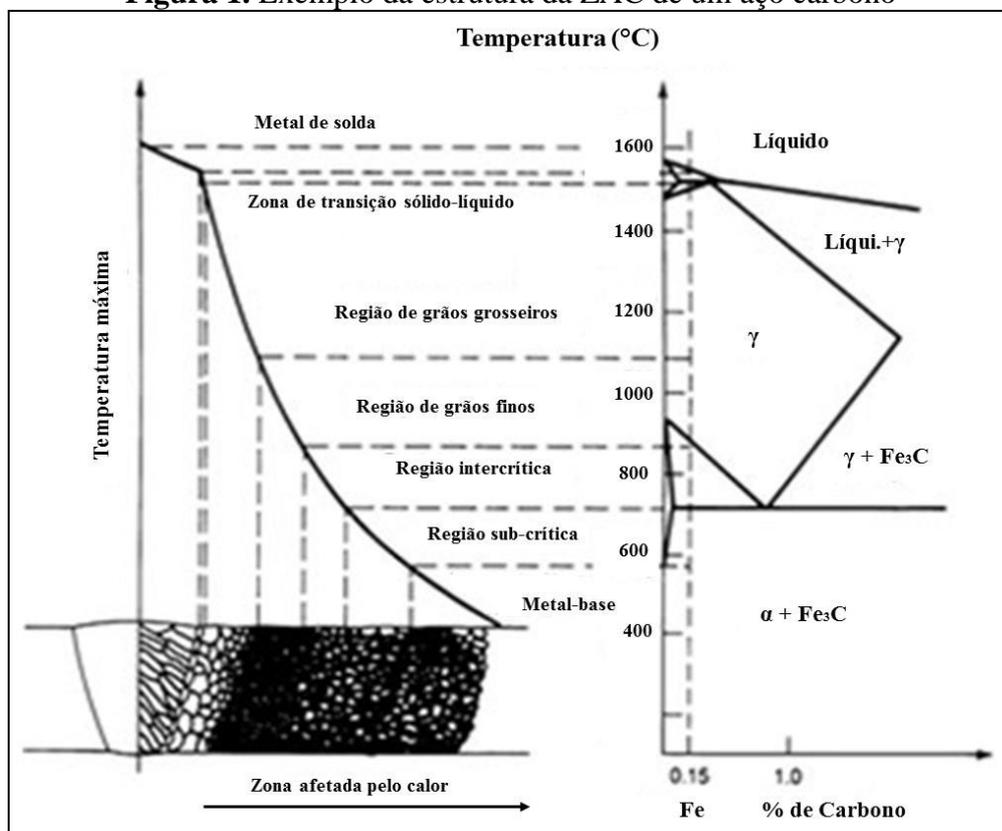
As matrizes de injeção de termoplásticos são fabricadas com aços ferramenta, por apresentarem elevada dureza, resistência à abrasão, boa tenacidade e por manterem propriedades de resistência mecânica em elevadas temperaturas. Tais características são obtidas com a adição de altos teores de carbono e elementos de ligas como o tungstênio, molibdênio, vanádio, manganês e cromo. Os aços para moldes podem ser cementados ou nitretados ou revenidos, quanto maior for a dureza superficial maior será a resistência ao desgaste e à oxidação (MEI e SILVA, 2010; BEAUDET; 2012; NAYEBPASHARE et al., 2016; RAJEEV et al., 2017). Nesses casos, o aço que mais se destaca é o aço AISI P20 (WNR 1.2738), que é normalmente temperado e revenido. Ele é fornecido recozido com a dureza de aproximadamente 230 HV podendo atingir 280 e 340 HV. Uma desvantagem do aço AISI P20 é sua baixa aceitação a solda, devido à alta concentração de carbono que, com outras ligas, formam uma estrutura martensítica, bainítica e ferrítica (HARADA, 2004; MEI e SILVA, 2010; FERRAZ e PRUDÊNCIO, 2016).

As matrizes de injeção de termoplásticos seguem uma sequência de fabricação, que consiste de: pré-usinagem (desbaste bruto por fresamento), tratamento de alívio de tensões, usinagem secundária (usinagem fina, eletroerosão e furações), têmpera e revenimento, polimento, texturização e *try-out*. Os erros que podem haver no polimento ou na textura da matriz, ou causados por eles, são refletidos no plástico injetado (HARADA, 2004). Durante o processo de fabricação de uma matriz erros processuais podem ser cometidos, tais como: furação em local errado, eletroerosão ou fresamento fora das dimensões requeridas no projeto, entre outros. Mas, para a reparação desses possíveis erros, os fabricantes geralmente utilizam o processo de soldagem, com intenção de “repor material que foi tirado a mais da matriz (PRECIADO e BOHORQUEZ, 2006; FERRAZ et al., 2018).

Os processos de soldagem mais utilizados para tais correções podem ser o processo a Laser ou TIG (*Tungsten Inert Gas*). Dentre ambos, o processo TIG é ao laser o mais barato, além de poder obter-se um acabamento tão bom quanto (KUMAR e SUNDARRAJAN, 2008; MARQUES, MODENESI E BRACARENSE, 2009; MODENESI, 2013; MEGID e GRASSI, 2013; RAJEEV et al., 2017; FERRAZ et al., 2018). Mas, devido ao calor gerado pela energia de soldagem, como nos processos a arco elétrico e tal no processo TIG, se forma nos metais duas regiões de propriedades mecânicas e de morfologia de grãos distintos em relação ao metal-base (MB). Essas regiões são chamadas de metal de solda (MS) e zona afetada pelo calor (ZAC). A formação do MS ocorre com a solidificação e o crescimento dos grãos que

seguem a mesma orientação cristalina dos grãos da região parcialmente fundida. Tal crescimento é chamado de epitaxial. No metal de solda geralmente se forma uma região de crescimento planar, seguida de crescimento celular e celular dendrítico. A ZAC, como seu nome diz, é a região que não foi fundida como o MS, mas sim transformada. Essa transformação (Fig. 1) ocorre devido à austenitização dos grãos, que no aço AISI P20 ocorre acima de 787°C e, com o resfriamento rápido e diferente ao resfriamento que o aço (MB) teve na usina, se forma a ZAC com a redistribuição do soluto, surgindo quatro regiões com grãos de morfologia distintas entre si, ao MS e ao MB, que são as regiões de grãos grosseiros, de grãos finos, intercrítica e subcrítica (DADFAR et al., 2007; WAINER, 1992).

Figura 1. Exemplo da estrutura da ZAC de um aço carbono



Fonte: Wainer (1992)

Após a realização de uma solda, nota-se que o MS, ZAC e MB possuem dureza distintas entre si. Segundo Preciado e Bohorquez (2004), a intensidade da energia de soldagem aplicada na soldagem (aporte térmico) pode alterar a dureza do MS e da ZAC. Por exemplo, os autores perceberam que com o aumento do aporte térmico de 3,6 kJ/cm para 9,8kJ/cm, a dureza do MS passou de aproximadamente 520HV para 400HV e na ZAC de 650HV para

580HV. Outros autores também, perceberam que com o aumento da energia de soldagem a área e rugosidade do MS e ZAC aumentaram (FIRRAO et al., 2013; HARI, 2013).

Com a variação de dureza inerente à ZAC e ao MS, a diferença de rugosidade pode ser percebida no processo de polimento e lixamento, tanto metalográfico quanto no acabamento de uma cavidade de molde. Quando realizada uma macroscopia com, por exemplo, o ácido nítrico (HNO_3) de 2 a 5%, se revela a presença da solda devido a diferença de intensidade de ataque entre o MS, ZAC e o MB. Como o soluto foi redistribuído entre as regiões citadas de maneira diferente, o ácido reage de forma distinta entre as mesmas. No caso de uma matriz, no qual é requisitado o processo de texturização fotoquímica, o mesmo fenômeno ocorre, devido a diferença de reação do ataque do ácido entre o Aço AISI P20 (MB), a ZAC e o MB. Essas diferenças na dureza e no ataque químico podem prejudicar, no caso das matrizes de moldes a qualidade final do plástico, pois o mesmo irá ser injetado e irá se solidificar em uma área de dureza e microrelevo diferente do resto do aço, revelando na superfície do plástico as mesmas ondulações ou manchas. No caso da dureza, o operador de polimento pode ter dificuldades em retirar ranhuras e ondulações da região soldada, mesmo em casos nos quais o metal de solda possua a mesma composição química em relação ao metal-base, esses eventos podem ocorrer (WAINER, 1992; PRECIADO e BOHORQUEZ, 2006; VEDANI, 2007; MEI e SILVA, 2010; LAN et al., 2012;).

Alguns autores realizaram em outros aços alguns tipos de beneficiamento após a soldagem. Eles compreenderam que esses beneficiamentos, como recozimento, têmpera e revenimento, podem recristalizar a ZAC e mudar as fases do MS, assim eliminando a ZAC e aliviar as tensões residuais deixadas pela solda, ou seja, diminuindo deste modo a dureza, devido a austenitização de toda a peça ocorre a recristalização da ZAC e a mudança de fases no MS. Assim sendo, esse trabalho buscou compreender se as utilizações de tais beneficiamentos como recozimento, têmpera e revenimento podem eliminar a ZAC ou diminuir a dureza da solda de tal modo a aproximar à dureza do MB. (SUN et al., 2001; PRECIADO e BOHORQUEZ, 2006; Y.D, JING e XUA, 2012; JORGE et al., 2013; LUZ, 2014; CHEN et al., 2015; MANUGULA et al., 2017; RIMING, 2017; FERRAZ et al., 2018).

Vale ressaltar que não foram encontradas normas ou códigos que satisfaça o anseio do objetivo deste trabalho, ou seja, realizar a soldagem sobre o aço ferramenta para recuperação ou alteração sem que a solda deixe marcas no aço. Existem alguns códigos e normas para soldagem de outros equipamentos, como AWS e o ASME IX. No caso do ASME IX, o código é voltado para área de vasos de pressão e chaparias, apenas os cuidados citados acima

podem ser acatados do código, pois não foi encontrado nenhum código ou norma de soldagem voltado para área de solda em aços ferramenta, até o momento.

1.1 OBJETIVO

Tendo em vista as considerações descritas, o objetivo deste trabalho foi desenvolver os procedimentos de solda adequados para o reparo de uma matriz para injeção de plástico, de tal modo a diminuir o máximo possível a presença das marcas deixadas pela solda, ou seja, com o visual e microestrutura de aparência mais próxima à do metal-base (aço AISI P20).

Para esta finalidade, alguns objetivos específicos deverão ser alcançados: a) obter os cordões de solda; b) realizar análises macroscópicas e microscópicas com a finalidade de visualizar a presença de possíveis descontinuidades e permanência de ZAC; c) realizar o ensaio de dureza nas regiões da solda; d) realizar a texturização fotoquímica para analisar se com a utilização do metal de adição da mesma composição química do MB há a possibilidade de observar as marcas da solda; e) realizar o ensaio de rugosidade com a finalidade de saber se há variações da mesma com a utilização do metal de adição da mesma composição química do MB.

1.2 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este exemplar para a defesa apresenta no Capítulo 2 uma revisão bibliográfica sobre o aço AISI P20, os tratamentos térmicos mais utilizados para o aço em questão, os moldes de injeção plásticas e seus tipos de acabamentos, o processo de soldagem TIG, a metalurgia de soldagem, reparos de solda por TIG.

O Capítulo 3 apresenta as técnicas de caracterização que foram utilizadas nas amostras como: análises macro e microscópicas (análises metalográficas), MEV, ensaio de dureza Vickers e ensaio de rugosidade.

O Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos utilizados para a realização do trabalho.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões dos resultados obtidos com a realização das soldas nas amostras do aço AISI P20. E, finalmente, o Capítulo 6 apresenta as conclusões, propostas de trabalhos futuros e referências bibliográficas.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os objetivos foram alcançados. Em resposta aos objetivos propostos originalmente, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- A utilização do pré e pós-aquecimento, beneficiamento pós-solda e a utilização do metal de adição da mesma composição química do metal-base, mostraram ser eficientes ao não deixarem as marcas de solda na amostra no polimento e texturização, conforme consta no experimento na segunda condição (fig. 31, 38, 39 e 40). Com isso, o ataque fotoquímico obteve a rugosidade de baixas variações entre as regiões do MS e MB. Mas, na falta de tais procedimentos fizeram com que as amostras apresentassem as diferenças de dureza e microestruturais, como visto nas amostras “a”, “b” e “c”, no experimento da primeira condição (Fig. 24, 29 e 30), em relação ao metal-base. Sem esquecer de mencionar que a utilização dos procedimentos também é viável para moldes que não passam pelo processo de texturização.

- Com isso é possível recuperar matrizes que podem ou não passar pelo processo de texturização. Isso pode garantir que o produto a ser injetado (termoplástico), venha obter melhor qualidade para suprir as expectativas mercado consumidor e evitar os possíveis prejuízos a indústria.

Para trabalhos futuros, serão realizados testes em outros tipos de ligas, como o aço H13, AISI 2711, AISI 4140, entre outros, pois a indústria procura alternativas mais adequadas para o aço AISI P20. Um exemplo pode ser dado com a utilização do aço H13 para injeção de acrílico (polimetil-metacrilato). Devido à alta viscosidade do termoplástico o aço ferramenta mais adequado para injeta-lo é o H13. Como os produtos injetados com esse polímero devem ter alta qualidade, ou seja, menor quantidade de descontinuidades, o aço da matriz não pode ter avarias ou **marcas de solda**.

REFERÊNCIAS

- AUCOTT, L. et al. Initiation and growth kinetics of solidification cracking during welding of steel. **Scientific Reports**, v. 7, n. 40255, p. 1-8, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep40255.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2019.
- BHADESHIA, H. K. D. H. Diffusional and displacive transformations. **Scripta Metallurgic**, Elmsford, v. 21, n.8, p. 1017- 1022, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0036974887902420>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- BEAUDET, F.; BLAIS, C. et al. Improvement of hardenability and static mechanical properties of P20 + 0.5Ni mold steel through additions of vanadium and boron. **ISIJ International**, v. 52, no. 3, p. 424–433, 2012.
- CALLISTER JÚNIOR, Willian D. **Fraturas por fadiga nos materiais**. In: _____. Fundamentos das ciências e engenharia dos materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Gênio LTC, 2012. cap. 12, p. 705.
- CHOI, J. Y.; JEONG, H. A study on polishing of molds using hydrophilic fixed abrasive pad. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Oxford, v. 44, n. 11, p. 1163–1169, 2004.
- COLPAERT, Hubertus. Microestruturas dos materiais em função da temperatura. In: _____. **Estruturas e propriedades dos materiais**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008, cap. 8, p. 199-205.
- DADFAR, M. et al. Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316l stainless steel. **Materials Letters**, Amsterdam, n. 61 p. 2343–2346, 2007.
- DELSHAD KHATIBI, P.; HENEIN, H.; PHILLION, A. B. Microstructure and mechanical characterization of rapidly solidified Cr-C tool steel: annealing effects. **Advanced Power Technology**, Tokio, v. 27, n. 5, p. 2076–2083, 2016.
- FERRAZ, N. A; PRUDÊNCIO, D. G. **Estudos comparativos das tecnologias de soldagem usadas em reparos em moldes para injeção plástica fabricados com aço aisi p20**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Mecânica Processos Metalúrgicos: soldagem) – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba, 2016.
- FERRAZ, N. A et al. Efeito da utilização dos procedimentos de soldagem desenvolvidos para reparo do aço aisi p20 (2738) utilizado em matrizes de injeção de plásticos. **Ferramental**, Joinville, v. 76, p. 30-34, mar./abr. 2018.
- FIRRAO, D.; MATTEIS, P.; RUSSO SPENA, P.; GEROSA, R. Influence of the microstructure on fatigue and fracture toughness properties of large heat-treated mold steels. **Materials Science and Engineering A: structural materials: properties, microstructure and processing**, Lausanne, v. 559, p. 371–383, 2013.

RAJEEV, G.P.; KAMARAJ, M.; BAKSHI, S. R. Hardfacing of AISI H13 tool steel with Stellite 21 alloy using cold metal transfer welding process. **Surface and Coatings Technology**, Lausanne, v. 326, p. 63–71, 2017.

GERBERICH, W. W. et al. Toward demystifying the mohs hardness scale. **Journal of the American Ceramic Society**, Westerville, v. 98, n. 9, p. 2681–2688, 2015.

GOLOGLU, C.; SAKARYA, N. The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 206, n. 1–3, p. 7–15, 2008.

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos**. 3. ed. São Paulo: Artliber, p. 184, 2004.

HARI, O. M.; PANDEY, Sunil. Effect of heat input on dilution and heat affected zone in submerged arc welding process. **Indian Academy of Sciences, Sadhana**, v. 38, n. 6, p. 1369–1391, 2013.

HOSEINY, H. et al. The effect of the martensitic packet size on the machinability of modified AISI P20 prehardened mold steel. **Journal of Materials Science**, London, v. 47, n. 8, p. 3613–3620, 2012.

IGNELL, S. et al. Three-dimensional scanning electron microscopy characterization of the topography of textured polymeric surfaces. **Polymer Engineering and Science**, Stanford, v. 50, n. 8, p. 1528-1534, 2010.

JORGE, J. C. F. et al. Efeito do tratamento térmico pós-soldagem nas propriedades mecânicas e microestruturais de metal de solda de aço de extra alta resistência para utilização em equipamentos de ancoragem. **Soldagem e Inspeção**, São Paulo, v. 18, n. 02, p.137-148, 2013.

KATTIRE, P.; PAUL, S.; SINGH, R.; YAN, W. Experimental characterization of laser cladding of CPM 9V on H13 tool steel for die repair applications. **Journal of Manufacturing Processes**, Deamborn, v. 20, p. 492–499, 2015.

KLOCKE, F.; DAMBON, O.; BEHRENS, B. Analysis of defect mechanisms in polishing of tool steels. **Production Engineering**, Cleveland, v. 5, n. 5, p. 475–483, 2011.

KUMAR A; SUNDARRAJAN, S. Effect of welding parameters on mechanical properties and optimization of pulsed TIG welding of Al-Mg-Si alloy. **The International Journal of Advanced Manufacturing**, v. 42, n. 1–2, p. 118–125, 2008.

LAN, L. Y. et al. Effect of single pass welding heat input on microstructure and hardness of submerged arc welded high strength low carbon bainitic steel. **Science and Technology of Welding and Joining**, 2012. v. 17, n. 7, p.41.

LIMA, C. **Influência do tratamento térmico de alívio de tensões associado à elevada energia de soldagem na tenacidade da zona termicamente afetada de um aço TMCP**. 2011. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/94433>. Acesso em: 12 mar. 2018.

LUZ, J. **Efeitos do pré-aquecimento e parâmetros de pulso sobre a microestrutura e propriedades mecânicas de solda em aço ARBL**. 2014. 29f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/96496>. Acesso em: 15 mar. 2018

MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A. **Processo de soldagem gtaw**. In: _____. Soldagem GTAW. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, cap. 13, p. 205-217, 2009

MEGID, M.; GRASSI, M. Caracterização microestrutural de uma estrutura tubular aeronáutica submetida a sucessivos reparos de solda tig. In:____ **Influência dos elementos de liga**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119924/000736517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MEI, R.; SILVA, A. Elementos de liga e suas influências. In:____. **Aços e ligas especiais**. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 5, p. 215-216.

METAL POLISH. Polishing. **Metal finishing**, v. 108, n. 2, p. 48, 2010. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026057610800443>. Acesso em: 17 mar. 18

MODENESI, P. J. A química da formação do cordão na soldagem TIG. **Soldagem e Inspeção**, v. 18, n. 3, p. 287–300, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242013000300011>. Acesso em: 15 mar. 2018

NAYEBPASHAEE, N. et al. Experimental and numerical study on plasma nitriding of AISI P20 mold steel. Article. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, v. 23, n. 9, p. 1065, 2016.

NOBUTAKA, B. Method to determine welding necessary preheat temperature in steel. **Quarterly Journal of Japan Welding Society**, v. 13, n. 3, p. 347–357, 1995.

POPELYUKH, A. I et al. Heat treatment of tool steel with mixed martensite-bainite transformation of austenite. **Steel in Translation**, London, v. 41, n. 4, p. 361–364, 2011.

PRECIADO, W. T.; BOHORQUEZ, C. E. N. Repair welding of polymer injection molds manufactured in AISI P20 and VP50IM steels. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 179, n. 1–3, p. 244–250, 2006.

RAJAN, K. M.; DESHPANDE, P. U.; NARASIMHAN, K. Effect of heat treatment of preform on the mechanical properties of ow formed AISI 4130 Steel Tubes theoretical and experimental assessment. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 126, p. 503-511, 2002.

RAJEEV, G.P.; KAMARAJ, M.; BAKSHI, S. R. Hardfacing of aisi h13 tool steel with Stellite 21 alloy using cold metal transfer welding process. **Surface and Coatings Technology**, Lausanne, v. 326, p. 63–71, 2017.

RIMING, W. et al. Improved uniformity of hardness by continuous low temperature bainitic transformation in prehardened mold steel with large section. **Materials Science & Engineering**, Lausanne, v. 706, p. 15–21, 2017.

SECCO, D. D. C. **Fresamento de aço para moldes e matrizes em condições criogênicas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Fabricação) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015. p. 50-67. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/15-04-2016/000864225.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2018.

SEDMAK, A. S.; TANASKOVIĆ, D. R.; MURARIU, A. C. Experimental and analytical evaluation of preheating temperature during multipass repair welding. **Thermal Science**, v. 21, n. 2, p. 1003–1009, 2017.

SIMOLD. **Aço AISI p20**: catálogo. Disponível em: <https://steelselector.sij.si/steels/UTOPNIN.html>. Acesso em 04 jan. 2018.

SUN, Y.; SUNADA, H.; TSUJII, N. Crack Repair of hot work tool steel by laser melt processing. **ISIJ International**, Tokyo, v. 41, n. 9, p. 1006–1009, 2001.

VEDANI, M.; PREVITALI, B.; VIMERCATI, G. M.; SANVITO, A.; SOMASCHINI, G. Problems in laser repair-welding a surface-treated tool steel. **Surface and Coatings Technology**, Lausanne, v. 201, n. 8, p. 4518–4525, 2007. Disponível em: <http://10.1016/j.surfcoat.2006.09.051>. Acesso em: 12 mar. 2019.

WAINER, Emílio et. al. Processo de soldagem GTAW e consumíveis. In: _____. **Processos de soldagem e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 60-87, 1992.

HANA, Y.D; JING, H.Y; XUA, L.Y. Welding heat input effect on the hydrogen permeation in the X80 steel welded joints. Article. **Materials Chemistry and Physics**, Lausanne, v. 132, p.216– 222, 2012.

ZUBAIRUDDIN, M. et al. Numerical simulation of multi-pass gtaw welding of grade 91 steel. **Journal of Manufacturing Processes**, Deamborn, v. 27, p. 87–97, 2017.