



30/5/83

INIS-BR-70

	ANAIS 4º. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais	 CBCEMAT
Deptº. de Engenharia Mecânica - UFSC Dezembro de 1980 Trabalho/Paper Nº. B-02. PP. 235-245.		
Patrocínio ABCM - ABM - CNEN - CNPq - SESU/MEC - UFSC		

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E ESTRUTURAIS A ALTA TEMPERATURA DE
JUNTA SOLDADA EM AÇO INOXIDÁVEL

Sergio Neves Monteiro
EE/UFRJ; COPPE/UFRJ

Tito Luiz da Silveira
Faculdade de Engenharia Souza Marques

Antonio Fernando de Carvalho Mota
COPPE/UFRJ

I nis

SUMÁRIO - Investigou-se o comportamento mecânico a 600°C de juntas tendo como metal base o aço inoxidável 304 e como solda o aço inoxidável 347 que contém nióbio. Esta investigação foi realizada através de ensaios de tração e fluência. Tratamentos térmicos de até 6.000 horas a 600°C permitiram simultaneamente o acompanhamento de alterações mecânicas e micro estruturais.

Observou-se que a exposição a 600°C sob carga contribue desde o início para um fortalecimento da solda por aceleração do processo de endurecimento por precipitação de segundas fases. (author).

SUMMARY - The mechanical behavior at 600°C of weldments made of type 304 stainless steel as base metal and niobium containing type 347 stainless as weld metal has been investigated. This was done through tensile and creep tests. Heat treatments at 600°C and up to 6000 hours permitted a simultaneous follow up of the mechanical and microstructural changes. It was observed that the exposure at 600°C under load contributes, from the begining, to the strengthening of the weld. This is due to the acceleration of the second phase precipitation hardening. (author).

1. Introdução

Diversos componentes mecânicos e estruturais de sistemas que operam a altas temperaturas vêm sendo fabricados em aços inoxidáveis austeníticos do tipo 18% cromo e 8% níquel (18/8). É o caso de torres de destilação, vasos de pressão, trocadores de calor, assim como muitas outras partes, reatores nucleares e usinas térmicas. A fabricação dos componentes em todos estes sistemas utiliza extensivamente o método de soldagem por ser, em princípio, adequado às necessidades de resistência e confiabilidade. No caso dos aços 18/8 empregam-se metais de adição (eletrodos de solda) com baixo teor de carbono ou contendo elementos formadores de carbonetos para evitar problemas de corrosão sobretudo a sensitização devido à precipitação nos contornos. Por exemplo, na soldagem do aço 304, industrialmente o mais empregado, utiliza-se solda em aço 308, de baixo carbono, aço 321 ao titânio, ou aço 347 ao nióbio. Por outro lado o desempenho a altas temperaturas das juntas em aço 18/8, particularmente o aço 304, ainda está sujeito à dúvidas em virtude da complexidade estrutural e possibilidades de alterações durante a vida útil do componente. A complexidade estrutural resulta dos efeitos térmicos durante a soldagem acarretando formação de ferrita com diferentes tamanhos e distribuição de fases [1, 2]. As alterações com o tempo a altas temperaturas decorrem da transformação de fases, precipitações de novas fases e mudanças morfológicas destas fases [3, 4].

Trabalhos recentes sobre o desempenho de juntas em aços 304 (base) /347 (solda) a 700°C [5, 6] mostraram que após um breve período de fortalecimento da zona fundida, ZF, na solda, ocorre, devido à precipitação de carbonetos, um declínio na resistência mecânica comprometendo sobretudo a zona termicamente afetada ZTA. Resultados preliminares a 600°C [7] indicaram a possibilidade do fortalecimento das ZF e ZTA por períodos equivalentes à vida esperada dos componentes. Esta temperatura de 600°C corresponde às mais altas condições normalmente exigidas na prática para estes tipos de juntas. Neste trabalho preliminar [7] não foram testadas condições de solicitação mecânica simultaneamente com a exposição a 600°C. Através de ensaios mecânicos de dureza e tração realizados à temperatura ambiente, caracterizou-se a resistência das juntas que haviam sido tratadas estaticamente a 600°C [7]. Por outro lado existem evidências de que nestas juntas as alterações estruturais a altas temperaturas sob carga sejam distintas das condições estáticas.

No presente trabalho deu-se continuidade à investigação sobre o

comportamento mecânico destas juntas realizando-se ensaios de tração e fluência a 600°C, acompanhando-se também as alterações estruturais. Alguns resultados de tração à temperatura ambiente são apresentados em complementação à investigação preliminar do trabalho anterior [7].

2. Técnica Experimental

Dados relativos aos materiais empregados, processo de soldagem, preparo de corpos de prova, técnica de ensaios e métodos de observação estrutural já foram apresentados em trabalhos anteriores [5, 6, 7]. Um resumo desta técnica experimental é apresentado a seguir:

ELEMENTO (%)	C	Cr	Ni	Nb + Ta	Nb/C	TAMANHO DE GRÃO μm
304 (Base)	0,060	18,3	8,43	-	-	80
347 (solda)	0,094	19,0	9,10	0,33	0,45	-

- Tratamentos térmicos realizados a 600°C por tempos até 6000 horas
- Ensaios de tração com velocidade de deformação de 0,5 mm/min em corpos de prova retirados de chapas soldada segundo posições e direções específicas, indicadas pelas séries:
 - I - metal base, segundo a direção de laminação da chapa
 - SL - metal de solda, direção longitudinal
 - ST - metal de solda, direção transversal
 - J - englobando metal base/solda/metal base
- Ensaios de fluência a 600°C em corpos de prova cilíndricos, diâmetro útil = 6 mm, e comprimento útil = 38 mm, das séries I, SL, ST e J
- Exames metalográficos para identificação das fases através de ataques químicos específicos
- Exame fractográfico por técnica de microscopia eletrônica de varredura.

3. Resultados

Os valores médios dos resultados dos testes de tração à temperatura ambiente em corpos de prova das séries I, SL, ST, ensaiados sem tratamento térmico e tratados termicamente a 600°C por diferentes tempos, bem como resultados de tração a 600°C destas mesmas séries estão apresentados na Tabela 1. Para ilustrar este comportamento em tração, a Figura 1 mostra a variação do limite de escoamento e da resistência máxima com o tempo de tratamento nestas séries. A Tabela 1 também apresenta os re-

sultados dos ensaios de tração a 600°C da série J; os outros resultados desta série já foram apresentados anteriormente [7].

SÉRIE	TRATAMENTO TÉRMICO A 600°C	TEMPERATURA DE ENSAIO	LIMITE DE ESCOAMENTO (kgf/mm ²)	RESISTÊNCIA MÁXIMA (kgf/mm ²)	ELONGAÇÃO (%)	REDUÇÃO DE ÁREA (%)
I	não tratado	Temp. Amb.	32	70	82	79
	750 horas	Temp. Amb.	31	74,7	71	66
	3300 horas	Temp. Amb.	26	62	68	56
	não tratado	600°C	18	33	38	64
SL	não tratado	Temp. Amb.	40	65	49	62
	750 horas	Temp. Amb.	38,6	67	38	39
	3300 horas	Temp. Amb.	41	68	31	46
	não tratado	600°C	28,5	42	22	56
ST	não tratado	Temp. Amb.	45	68	84	51
	750 horas	Temp. Amb.	46,3	73,4	102	53
	não tratado	600°C	31	42,3	63	32
J	não tratado	600°C	18,5	35	28	65

TABELA 1 - Ensaios de Tração

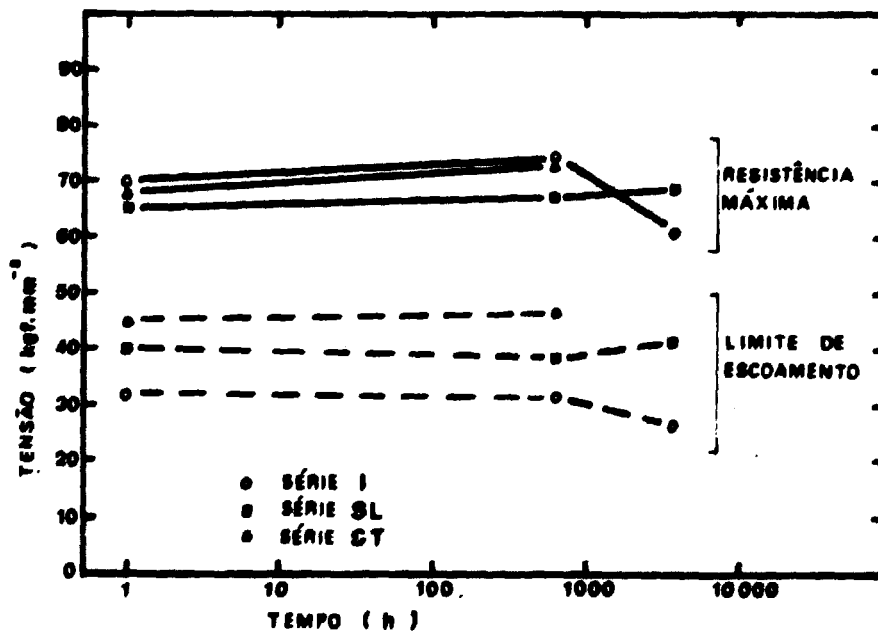


FIGURA 1 - Resultado dos Ensaios de Tração na Temperatura Ambiente dos Corpos de Prova Tratados Termicamente a 600°C

Curvas típicas de fluência das séries estudadas estão exemplificadas na Figura 2. A partir destas curvas foram obtidos valores da taxa mínima com a tensão inicial do correspondente ensaio de fluência. A variação do tempo t_r de ruptura com esta tensão encontra-se na Figura 4.

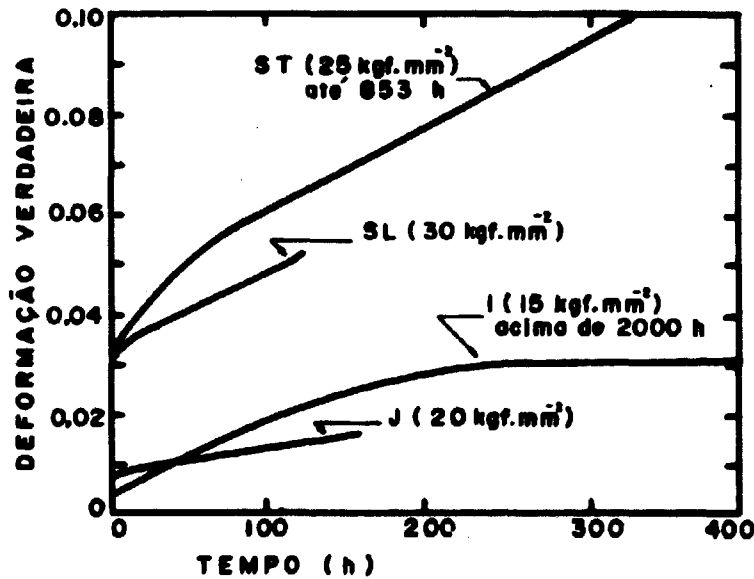


Figura 2 - Curvas de Fluência

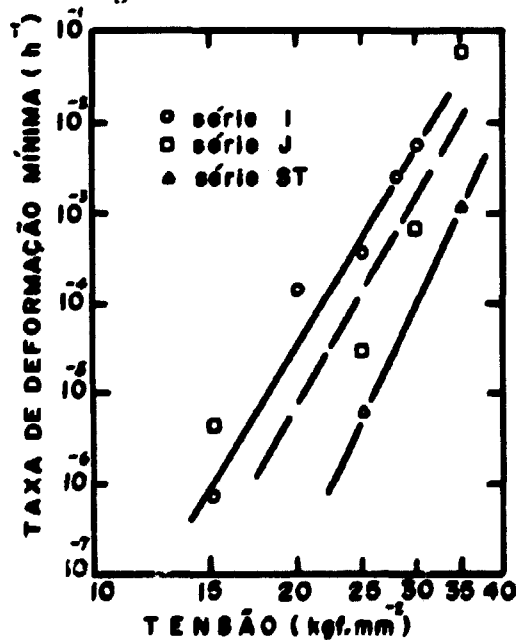


FIGURA 3 - Curvas de Taxa Mínima de Fluência Versus Tensão Inicial de Ensaio para as Séries I, J e ST

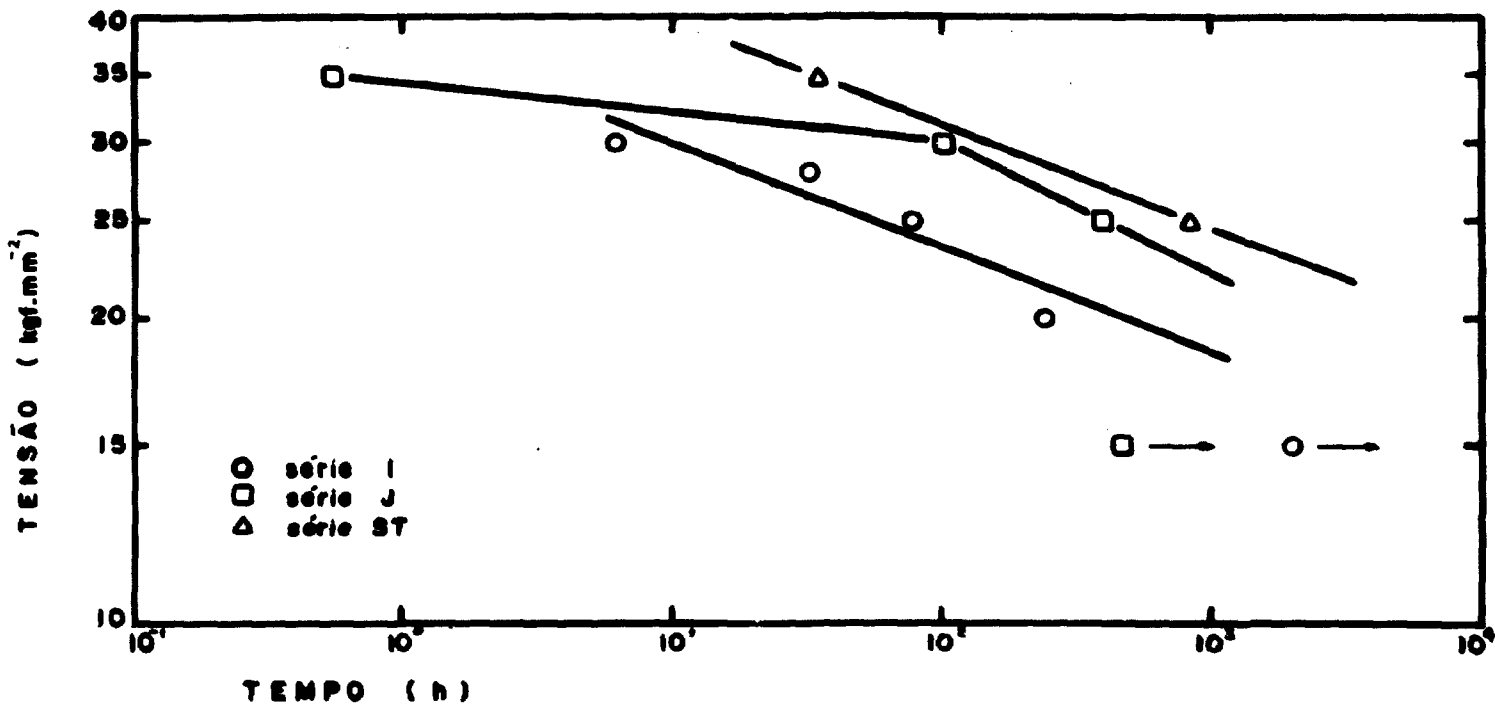


FIGURA 4 - Tempos de Ruptura Contra Tensão Inicial de Ensaio para as Séries I, J e ST

O efeito final da solicitação mecânica à carga constante pode ser observado nos perfis de ruptura dos corpos de prova de fluência. A Figura 5 apresenta a fotografia de corpos de prova da série SL, a Figura 6 a fotografia dos corpos de prova da série ST e a Figura 7 a fotografia dos corpos de prova das séries I e J.

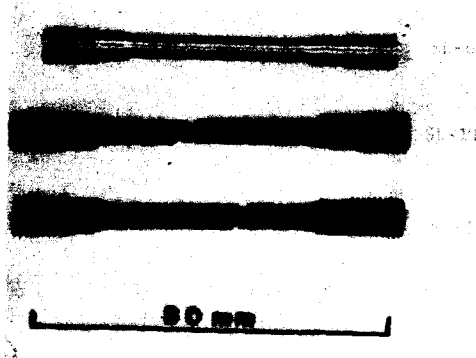


FIGURA 5

- SL-0) Corpo de prova não ensaiado
- SL-11) Corpo de prova ensaiado em fluência com 35 Kgf/mm²
- SL-16) Corpo de prova ensaiado em fluência com 25 Kgf/mm²

FIGURA 6

- ST-0) Corpo de prova não ensaiado
- ST-1) Corpo de prova ensaiado em fluência com 35 Kgf/mm²
- ST-2) Corpo de prova ensaiado em fluência com 25 Kgf/mm²

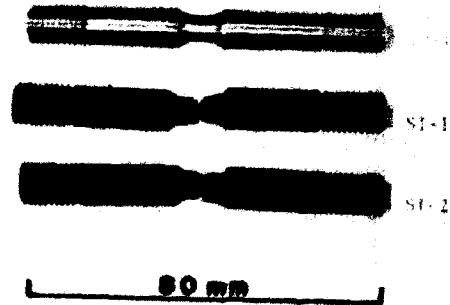
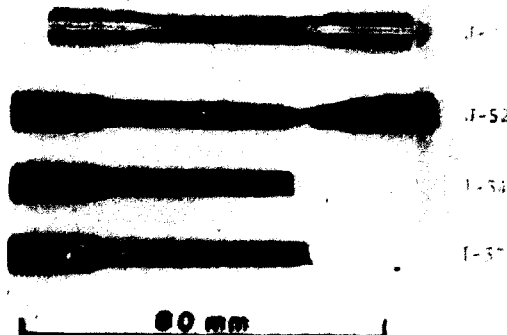


FIGURA 7

- J-0) Corpo de prova não ensaiado
- J-52) Corpo de prova ensaiado em fluência com 35 Kgf/mm²
- I-34) Corpo de prova ensaiado em fluência com 20 Kgf/mm²
- I-37) Corpo de prova ensaiado em fluência com 20 Kgf/mm²



Uma extensa investigação das alterações microestruturais produzidas por tratamento térmico e solitação mecânica a 600°C foi também objeto desta investigação. A limitação do presente artigo impede que sejam apresentados os resultados obtidos. A título ilustrativo a Figura 8 compara as microestruturas desenvolvidas a 600°C , em tempos aproximadamente iguais: (a) com tratamento estático; (b) sob carga. Observa-se aparecimento de fase sigma bem como maior coalescimento da estrutura dendrítica.

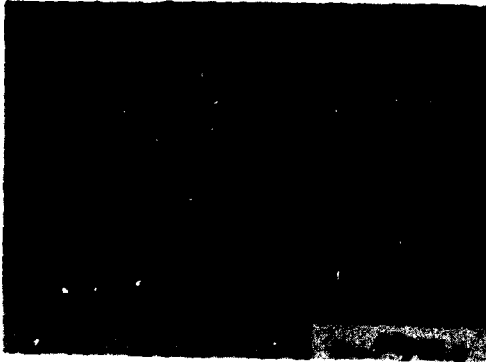


FIGURA 8a

Micrografia de um corpo de prova não ensaiado e tratado termicamente até 1000 horas em 600°C

ATAQUE: Ácido Oxálico
REGIÃO: Linha de Fusão

FIGURA 8b

Micrografia de um corpo de prova ensaiado em fluência a 600°C

TENSÃO INICIAL: 20 Kgf/mm^2

TEMPO DE RUPTURA: 150 h

ATAQUE: Ácido Oxálico

REGIÃO: Linha de Fusão



FIGURA 8c

Detalhe da Figura 8b mostrando a precipitação nos contornos de grãos

ATAQUE: Ácido Oxálico

REGIÃO: Zona Fundida



4. Discussão

O trabalho preliminar [7] sobre o comportamento das juntas 304/347, série J, mostrou ser o metal de base mais resistente que a solda até 750 horas de tratamento térmico a 600°C. Este comportamento é compatível com os valores da resistência máxima, Fig. 4 e Tabela 1, para o metal base e para a solda ensaiados individualmente. É interessante notar-se que a resistência em tração da solda longitudinalmente, série SL, é sempre pouco menor que a transversalmente, série ST. Em princípio dever-se-ia esperar um comportamento inverso em virtude da orientação colunar dos grãos da zona fundida.

Comparando-se agora os ensaios de tração à 600°C observa-se, Tabela 1, que a junta, série J, apresenta resistência similar à do metal base, série I, e razoavelmente inferior à da solda, séries SL e ST. Na realidade a ruptura do corpo de prova "composto" da série J ocorreu no metal de base. Deve ser mencionado que estes ensaios de tração são comparáveis aos mais rápidos ensaios de fluência.

A taxa mínima correspondente ao segundo estágio de fluência, serve como um indicador para a resistência do material à deformação sob carga constante. A despeito do limitado número de ensaios, observa-se na Fig. 3 que a série I do metal base apresenta maiores valores da taxa mínima que a série ST da solda. Isto indica que a solda apresenta maior resistência à fluência. Vale notar, Fig. 3, que os ensaios da série J da junta "composta", apresentam valores intermediários.

A variação do tempo de ruptura em fluência com a tensão, Figura 4, também indica ser a solda mais resistente à fratura que o metal base. Entretanto os corpos de prova da série J, junta "composta", apresentam tempos de ruptura praticamente idênticos aos da série I, metal base, na Fig. 4. Isto certamente é consequência da ruptura da série I ocorrer na região do metal de base. A Figura 5 ilustra as condições de ruptura dos corpos de prova da série J no metal de base. Nesta mesma Figura são apresentados perfis de ruptura de corpos de prova da série I, metal de base. Os perfis de ruptura dos corpos de prova para fluência do cordão de solda longitudinalmente, Fig. 6 e transversalmente, Fig. 7, demonstram uma ductilidade relativamente baixa associada entretanto à baixas taxas de fluência e longos tempos de ruptura.

Em síntese pode-se constatar que a 600°C a solda, tanto na ZF quanto na ZTA, apresenta, resistência sob carga superior ao metal base. Isto ocorre desde curtos tempos de carregamento até, pelo menos, os longos

tempos atingidos nos presentes ensaios de fluência.

A razão para este fortalecimento de solda já havia sido discutido [6, 7] sendo devida ao endurecimento por precipitação de carbonetos. Entretanto, a 600°C sem carga ocorre uma demora da ordem de 750 horas para este endurecimento ser efetivo. Sob carga, as alterações estruturais são aceleradas, Fig. 8, e a solda logo se torna mais resistente.

5. Conclusões

A evolução do comportamento mecânico isoladamente do metal de base e da zona fundida tratadas termicamente a 600°C sem carga conjuga-se com o comportamento da junta AISI 304/347 como um todo.

O cartão de solda testado longitudinalmente em tração apresenta maior resistência que transversalmente. Isto talvez resulte de um enfraquecimento relativo dos contornos de grão na zona fundida.

Ensaios de tração e fluência a 600°C indicam que o comportamento mecânico sob carga da junta, como um todo, e do metal base e zona fundida, individualmente, apresenta, desde o início, maior resistência na solda do que no metal de base.

Isto pode ser justificado pelo aceleramento das alterações estruturais, sobretudo o endurecimento por precipitação de carbonetos, confirmadas metalograficamente.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Prof. Alexandre Meireles Pope e o suporte concedido à esta pesquisa pelo CNPq, CNEN, Fundação Souza Marques, CEPG/UFRJ e FINEP.

É também motivo de agradecimento a ajuda prestada por Helena Santos de Oliveira.

Bibliografia

- (1) Delong, W.T.; Welding Journal Research Supplement, 53(1974) p. 273-286.
- (2) Spruiell, J.E., Fett, W.E. e Lundin, C.D.; Welding Journal Research Supplement, 56(1977) p. 289-290.

- (3) White, W.E. e Le May, I.; *Metallography*, Vol. 3 (1970) p.51-60.
- (4) White, W.E. e Le May, I. *Metallography*, Vol. 5 (1972) p.333-345
- (5) Pope, A.M.; Silveira, T.L. e Monteiro, S.N.; *Metalurgia, ABM*, vol. 35 (1979) p. 103-107.
- (6) Pope, A.M.; Silveira, T.L. e Monteiro, S.N.; *Metalurgia, ABM*, vol. 36 (1980), p. 155-159.
- (7) Mota, A.F.C.; Silveira, T.L. e Monteiro, S.N.; *Previsão de Alterações Estruturais e Mecânicas em Solda AISI 304/347 a Altas Temperaturas - Apresentado ao XXXV Congresso Anual de ABM, São Paulo, julho 1980.*