

ODECIO JOSÉ GUGLIELMI BRANCHINI

SOLDAGEM E SOLDABILIDADE  
DE AÇOS  
BAIXA LIGA E ALTA RESISTÊNCIA

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia.

São Paulo, 1983

FD-527

FD-527

À minha esposa e aos meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Celio Taniguchi pelo incentivo e orientação que tornaram possível este trabalho.

À CONFAB Industrial S/A, Divisão de Equipamentos através do Engenheiro Idel Metzger pela autorização da divulgação dos resultados e pelas sugestões e críticas construtivas.

À meus pais pelo constante incentivo à continuidade dos estudos.

\*

RESUMO

Aços de baixa liga e alta resistência apresentam problemas de soldabilidade em função de suas características próprias e de aplicações específicas.

A abordagem didática apresentada através do reconhecimento dos problemas e suas causas, da avaliação de suas consequências e da prescrição de medidas preventivas é o objetivo principal deste estudo.

Um método de enfoque de problemas de soldabilidade e uma aplicação a um caso real, demonstram a validade da pesquisa bibliográfica, da experimentação prática e do uso de princípios de garantia da qualidade para se contornar estes problemas.



ABSTRACT

Low alloy steels with high limits of strength characteristics present problems of weldability as a function of their own characteristics and of the specific applications.

The didactic approach presented through the recognition of the problems and their causes, through the evaluation of their consequences and through the prescription of preventive measures is the major objective of this study.

A method for focusing the problems of weldability and an application to a real case, demonstrate the validity of bibliographic research, of practical experimentation and of the use of quality assurance principles to handle these problems.

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
	DEDICATÓRIA	
	AGRADECIMENTOS	ii
	RESUMO	iii
	"ABSTRACT"	iv
	ÍNDICE	v
	LISTA DE TABELAS	viii
	LISTA DE FIGURAS	ix
	LISTA DE ANEXOS	xiii
0.0	INTRODUÇÃO	1
1.	AÇOS BAIXA LIGA COM ALTA RESISTÊNCIA	3
1.1.	Aços com Estrutura Perlita-Ferrita	3
1.2.	Aços com Estrutura Bainítica	4
1.3.	Aços Temperados e Revenidos	7
1.4.	Conclusões	8
2.	O CONCEITO DE SOLDABILIDADE	12
2.1.	Definição Internacional de Soldabilidade	12
2.2.	Consequências da Definição	12
2.3.	Tipos de Soldabilidade	16
3.	PROBLEMAS QUE ADVÊM DA PRESENÇA DE UM DEFEI TO NO CORDÃO DE SOLDA.	18
3.1.	Efeitos da Junta Soldada em uma Construção Metálica.	18

<u>ITEM</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
3.2.	Trincas a Quente	19
3.3.	Trincas por Decoção Lamelar	21
3.4.	Trincas a Frio	24
3.5.	Trincas devidas ao Reaquecimento	47
4.	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE UM PROBLEMA DE SOLDABILIDADE.	48
4.1.	Princípios Básicos	48
4.2.	Solução	48
4.3.	Importância da Microestrutura das Zonas Soldadas	50
4.4.	Noções de Metalurgia de Soldagem dos Aços	<del>59</del> 55
4.5.	O Diagrama TRC em Condições de Soldagem	59
4.6.	Curva de Dureza sob Cordão	61
4.7.	Conclusões sobre Microestrutura - Propriedades e Comportamento	61
4.8.	Parâmetros que modificam o traçado dos diversos diagramas	63
5.	APLICAÇÃO A UM CASO REAL	76
5.1.	Introdução	76
5.2.	O Processo de Soldagem	77
5.3.	O Metal Base e o de Adição para Soldagem	78
5.4.	O Programa de Soldagem	80
5.5.	Execução da Qualificação do Procedimento de Soldagem da Penetração em uma Chapa Conformada.	83

<u>ITEM</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
5.6.	Considerações sobre os problemas encontrados e soluções adotadas.	99
6.	CONCLUSÕES	105
7.	ANEXOS	106
8.	BIBLIOGRAFIA	137

LISTA DE TABELAS

<u>TABELA</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
1	Classificação dos Aços em Função do Tratamento Térmico.	10
2	Comprimento do Cordão correspondente a 10 cm de Eletrodo consumido em função do diâmetro do Eletrodo e da Energia de Soldagem. (rendimento normal 110 e 115%).	41
3	Comprimento de Cordão correspondente a 10 cm de Eletrodo consumido em função do diâmetro do Eletrodo e da Energia de Soldagem. (eletrodo de alto rendimento 150 - 175%).	42
4	Coefficiente K para determinação da Energia - Equivalente . Soldagem plana e em ângulo.	
5	Coefficiente K para a determinação da Energia Equivalente. Soldagem com Chanfro	43
6	Resumo de Alguns Dados do Protocolo de Soldagem	90



LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
1	Condições de Tenacidade e Limite de Resistência de um Aço CMnNb.	5
2	Condições de Tenacidade e Limite de Resistência de um aço CMnV.	5
3	Condições de Tenacidade e Limite de Resistência de um Aço Acalmado ao Al.	6
4	Propriedades dos Aços de Construção a Alto Limite de Resistência.	9
5	Configuração de um Cordão de Solda.	20
6	Trinca por Decoção Lamelar.	22
7	Projeto da Junta - Decoção Lamelar.	22
8	Exemplos de Trincas a Frio.	25
9	Exemplos de Forças de Atracamento.	28
10	Características de Soldabilidade de um Aço considerado	30
11	Relação entre os Parâmetros de Resfriamento e as Condições Operatórias de Soldagem.	32

<u>FIGURA</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
12	Domínios de Soldabilidade sem Pós-Aquecimento - Esquema.	34
13	Domínios de Soldabilidade com Pré-Aquecimento - Esquema.	34
14	Curva de Sieverts.	35
15	Mecanismo de Difusão do Hidrogênio no Cordão de Solda.	35
16	Domínio de Soldabilidade conhecida a Energia Equivalente.	45
17	Ciclo Térmico da Soldagem. - Principais Parâme- tros de Resfriamento.	45
18	Modos de Resfriamento.	53
19	Diagrama Geral sobre Condições de Soldagem $\Delta t$ 700/300.	53
20	Diagrama Geral em Condições de Soldagem em $tr= 800/500$ .	54
21	Diagrama Particular das Condições de Soldagem em Coordenadas Reduzidas.	54
22	Exemplos de Modificação Estrutural nas Vizinhan- ças de uma Soldagem por Arco Submerso de um Aço CMn normalizado.	57

<u>FIGURA</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
23	Diagrama de Transformação em Resfriamento Contínuo-TRC (em condições de soldagem).	60
24	Curva Dureza X Parâmetro de Resfriamento (dureza sob cordão).	62
25	Influência da Temperatura de Austenitização sobre o Diagrama de Transformação em Resfriamento Contínuo TRC.	66
26	Efeito da %C sobre a Dureza Martensítica.	66
27	Influência dos Elementos Químicos sobre a Curva Dureza sob Cordão X Parâmetro de Resfriamento.	68
28	Limite de Dureza de um Tipo de Aço.	68
29	Influência da Temperatura de Austenitização sobre a Curva Dureza/Parâmetro de Resfriamento.	70
30	Influência dos Elementos de Liga sobre a Curva $TK = f(\Delta t)$ na ZTA.	70
31	Influência dos Elementos Dispersóides sobre a Temperatura de Transição de ZTA Simulada.	72
32	Influência do Carbono na Temperatura de Transição TK 28J na ZTA.	72
33	Influência do Tratamento de Alívio sobre a Temperatura de Transição da ZTA simulada de Aço com ou sem Nb.	75

FIGURA

TÍTULO

PÁG.

34

Temperaturas de Transição da ZTA simuladas em  
Aço E355 com ou sem Adição de Dispersóides no  
Estado Bruto e Aliviado.

75

LISTA DE ANEXOS

<u>ANEXO</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
1	Especificação do Procedimento de Soldagem	107
2	Especificação de Tratamento Térmico	109
3	Plano Sequencial de Atividades e Inspeções	111
4	Protocolo de Soldagem	115
5	Plano de Amostragem para retirada dos Cor- pos de Prova de Ensaios Destrutivos	123
6	Esquema de Localização para Retirada de Corpos de Prova para Qualificação de Eletro- dos Revestidos.	129
7	Conjunto de Macro e Micrografias da Junta Soldada.	131
8	Fluxo de Recepção, Armazenamento e Uso de Eletrodos Revestidos.	133
9	Técnicas do Término de um Ponto de Solda em vários passes em Cascata.	135



## 0. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento tecnológico de diferentes setores exige a utilização de materiais, que apresentem boas características mecânicas e preços razoáveis.

No caso de construções metálicas sujeitas a grandes esforços, utiliza-se aços baixa liga (ou microligado) e alta resistência mecânica.

Estas características são conseguidas pela adição de pequenos teores de elementos de liga como Nb, V e Ti que precipitam na forma de carboneto ou através de tratamento térmico de tempera e revenido.

O emprego destes tipos de aço, por outro lado, está muito ligado a sua soldabilidade, que se não for adequada, poderá prejudicar totalmente a sua utilização. Assim, tomando-se como exemplo um aço de baixa liga microligado ao vanádio, foi desenvolvido este trabalho - cuja metodologia poderá ser utilizada em outros tipos de aços similares.

Para tanto, o programa de pesquisa se inicia com a caracterização dos diferentes tipos de aços de baixa liga e alto limite de resistência, seguindo-se da apresentação da filosofia da soldabilidade - como base para o bom desempenho da técnica de soldagem.

Após esta etapa, efetua-se o levantamento dos principais problemas de soldabilidade e suas causas, seguindo-se a avaliação e prescrição de soluções preventivas aos defeitos então reconhecidos.

A metodologia de enfoque dos problemas de soldabilidade merece desta que especial, por ser mais ampla que a simples detecção de um defeito de soldagem e sua aplicação pode estender-se a outros casos.

Finalmente, é apresentado um caso real, onde os pontos críticos fo ram identificados e as soluções propostas aplicadas; demonstrando a validade do método desenvolvido.

## 1. AÇOS BAIXA LIGA COM ALTA RESISTÊNCIA

### 1.1. Aços com Estrutura Perlita-Ferrita

Vários autores (1) a (8) demonstraram que os principais fatores que influenciam a tenacidade dos aços com estrutura perlita-ferrita são :

- teor (%) de perlita na microestrutura;
- o tamanho de grão da ferrita na estrutura;
- presença de elementos em solução sólida de endurecimento, seja de interstício, seja de substituição.

O modo mais simples e barato de se obter estrutura com alto teor de perlita é a introdução de C e de Mn. Assim a primeira formula de aço com limite de resistência superior a  $240 \text{ N/mm}^2$  foi naturalmente a do aço ao CMn ao qual se adicionou Si provocando a formação de uma solução sólida endurecedora.

O segundo critério necessário para a obtenção de um alto limite de resistência - um grão ferrítico fino - é conseguido quando para acalmar o aço se adiciona elementos que fixem o nitrogênio originando nitretos os quais sob a ação de tratamento térmico de normalização precipitam nos contornos de grão.

O modo mais frequente de desoxidação utilizado é a adição de Al, formando nitreto de alumínio, que produz um sensível refinamento de grão, o que torna o aço garantido para um limite de resistência mínimo de 360 a  $400 \text{ N/mm}^2$ .

Entretanto, simultaneamente com o desenvolvimento de aços com limite de resistência ainda maiores, encontrou-se sérios problemas de soldagem e a solução de aumentar mais o teor em C teve que ser abandonada. Outra alternativa, foi a de adicionar-se elementos como o Nb e V que produzem considerável refinamento de grão devido a precipitação não somente dos nitre

tos como também dos carbonetos.

Por outro lado, os carbonetos têm ainda uma ação endurecedora e assim com a adição Nb e V se consegue as ações combinadas de refino de grão e de endurecimento, o que permite se obter valores limites de resistência mínimas garantidos da ordem de 500 N/mm<sup>2</sup>.

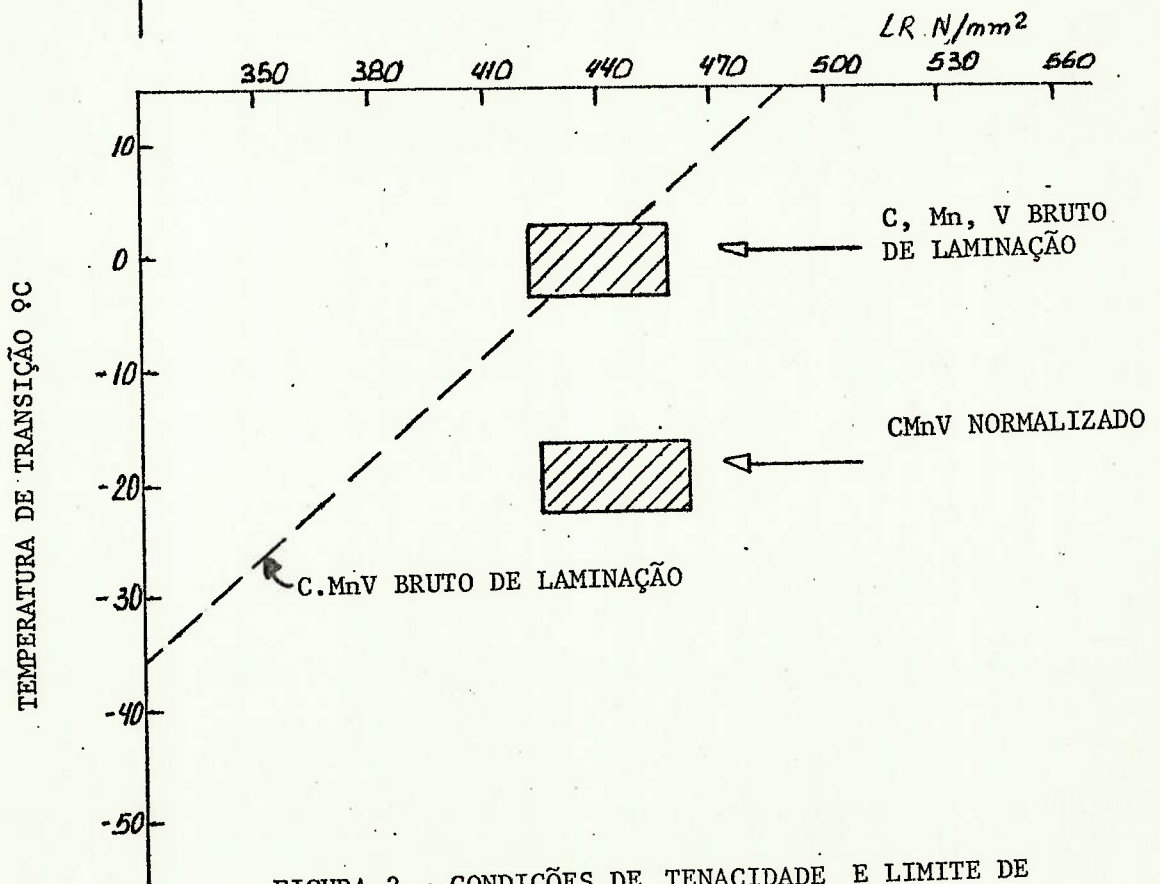
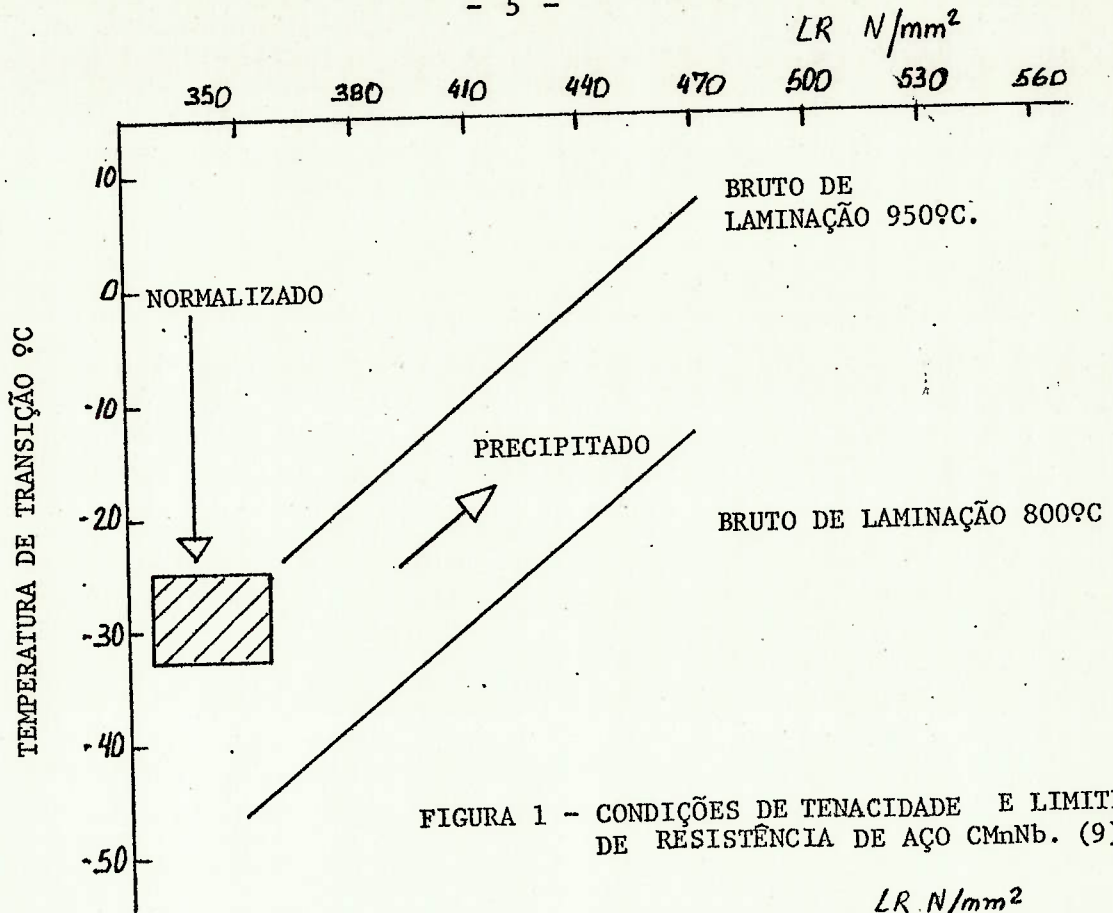
Há, entretanto, um certo número de condições que devem ser respeitadas para a obtenção de tais valores :

- a) grão fino : o material deve ser submetido a um tratamento térmico de normalização ou à laminação controlada com temperatura final de no máximo 850°C;
- b) teor de precipitantes endurecedores : dependem dos teores de Nb, V, Al, bem como da solubilidade destes elementos à temperatura de reaquecimento;
- c) teor de N<sub>2</sub> livre : depende em parte do processo de elaboração do aço.

As figuras 1, 2 e 3 mostram as propriedades de tenacidade e de limite de resistência de 3 tipos de aços: CMnNb, CMnV, CMnAl. Estas composições permitem obter aços de estrutura ferrita/perlita, que no estado normalizado dão valores garantidos de limite de resistência mínimo de 500 à 550 N/mm<sup>2</sup>.

### 1.2. Aços com Estrutura Bainítica

Considerando a influência dos elementos de liga sobre a forma e a posição das curvas de transformação e igualmente sobre o comportamento no revenido, vários tipos de composições químicas são possíveis. Todavia, os elementos correntemente utilizados são o Cr, Ni, Cu, Mo e sobretudo o B quando se deseja uma estrutura totalmente bainítica. Com efeito, a dificuldade em se obter a estrutura bainítica é que no caso, a totalidade dos aços de baixa liga e baixo C, quando resfriados lentamente, favorece





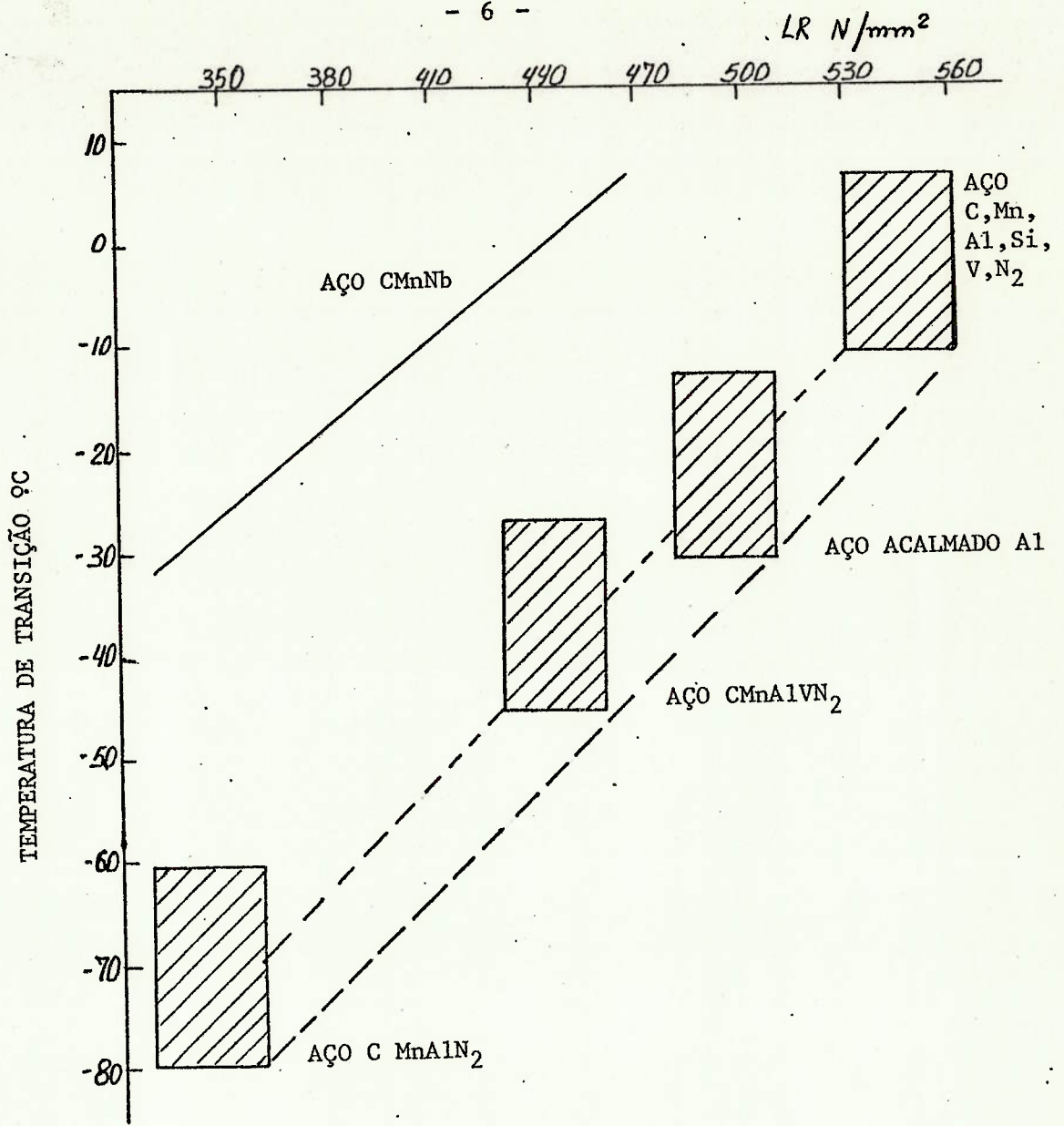


FIGURA 3 - CONDIÇÕES DE TENACIDADE E LIMITE DE RESISTÊNCIA  
AÇO ACALMADO AO A1. (9)

cem a ocorrência da transformação ferrítica antes da bainítica. Já quando resfriados mais rapidamente não há transformação ferrítica, porém pode haver além da bainítica a formação da martensita. Assim pode-se correr o risco de se obter uma estrutura ferrítica + perlítica ou bainítica + martensítica. Uma alternativa para se conseguir estrutura totalmente bainítica é adicionar B que retarda a transformação ferrítica, aumentando a faixa de temperatura de resfriamento.

Já o Cr e Mo diminuem a temperatura de início de transformação bainítica e tornam constante a temperatura de transformação - quando resfriado ao ar para uma grande faixa de espessuras. Assim, pode-se obter aços onde o valor mínimo do limite de resistência garantido varia entre 550 a 650 N/mm<sup>2</sup>.

Os valores de 550 N/mm<sup>2</sup> de limite de resistência podem ser obtidos por um simples tratamento térmico de normalização, já os valores de 650 N/mm<sup>2</sup> são atingidos quando se segue à normalização de um revenido (9).

### 1.3. Aços Temperados e Revenidos

Valores de limite de resistência mais elevados são conseguidos quando se passa à categoria dos aços temperados e revenidos (8), (10). Entretanto, é necessário que se parta de aços que tenham uma temperabilidade suficiente para, após a tempera atingir valores elevados do limite de resistência mesmo para grandes espessuras (11).

O C é o elemento endurecedor por excelência (9), o limite de resistência tendem a crescer com o aumento do seu teor, enquanto que há deterioração da tenacidade em presença de entalhe e da temperatura de transição, e assim sendo, deve-se manter baixo o teor de C.

Esta é a razão pela qual estes aços contêm elementos como Ni, Cr e B que melhoram sua temperabilidade. Por outro lado, para evitar que o revenido leve a um amolecimento elevado são utilizados elementos como Mo, V que durante o revenido geram precipitados endurecedores.

A figura 4 resume estes aços e dá em função dos diferentes tipos de aços estudados, os domínios dos valores de limite de resistência que se pode obter, associados às temperaturas de transição.

A tabela 1, dá uma classificação baseada no tipo de aço e no tratamento térmico indicando em cada caso os valores do limite de resistência que se pode obter.

#### 1.4. Conclusões

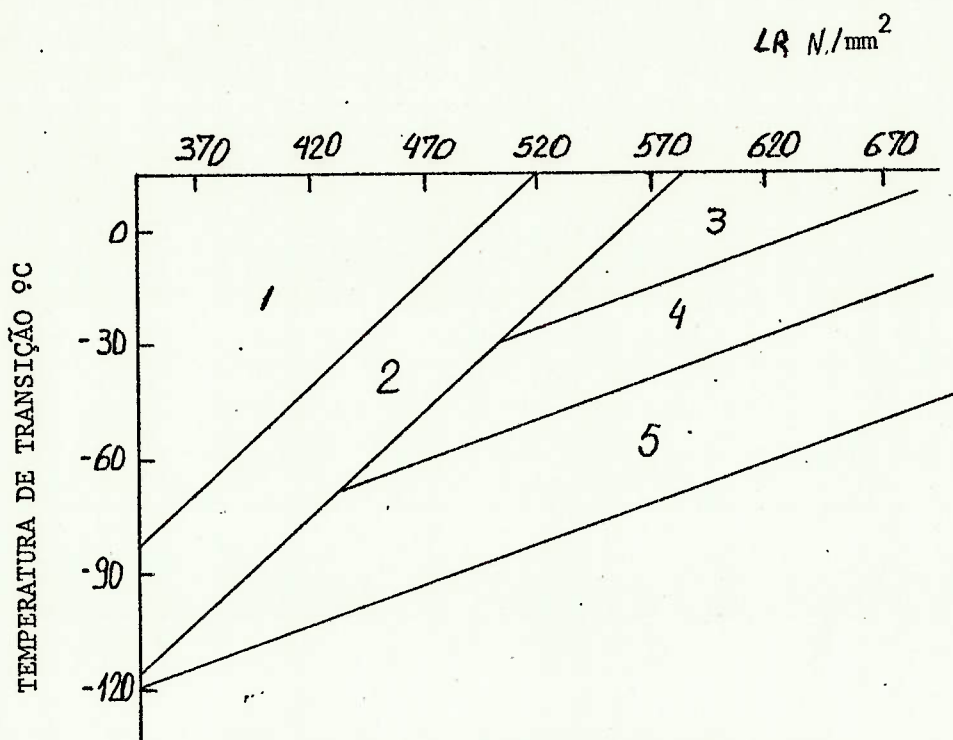
Mesmo em se considerando que os elementos de liga utilizados sejam os mesmos, defini-se duas grandes categorias destes aços.

- a) Os aços usados seja no estado bruto de laminação, seja de preferência normalizados ou normalizados e revenidos. O valor mínimo garantido do limite de resistência para estes aços está em geral compreendido entre 360 a 500 N/mm<sup>2</sup>.

Como regra geral com o teor de C < 0,22% e do Mn ≤ 1,6%, os limites de resistência superiores a 380 N/mm<sup>2</sup> são obtidos por adição de 2 tipos de elementos de liga.

Os elementos que são ativos em presença de N<sub>2</sub> tais como: Al, Nb, V, Ti, se combinam com N<sub>2</sub> para formar os nitretos que precipitam no contorno de grão.

Certos elementos como V e Ti podem, por outro lado, dar carbonetos que precipitam sob uma forma finamente dispersas.



1. AÇO FERRÍTICO-PERLÍTICO COM GRÃO FINO.
2. AÇO FERRÍTICO-PERLÍTICO COM LAMINAÇÃO CONTROLADA.
3. AÇO BAINÍTICO.
4. AÇO BAINÍTICO COM LAMINAÇÃO CONTROLADA.
5. AÇO TEMPERADO E REVENIDO.

FIGURA 4 - PROPRIEDADES DE AÇOS DE CONSTRUÇÃO A ALTO LIMITE DE RESISTÊNCIA. (9)

TABELA 1

Classificação dos Aços em Função do Tratamento Térmico : (9)

Tipo do Aço	Tratamento Térmico	Limite de Resistência N/mm <sup>2</sup>
Aços ao Carbono (1)	Bruto de laminação	240 a 350
	Normalizados	240 a 350
	Temperado e Revenido	350 a 700
Aços baixa liga (2)	Bruto de laminação	280 a 490
	Normalizado	280 a 420
	Temperado e Revenido	420 a 700
Aços ligas (3)	Normalizado	240 a 350
	Normalizado e Revenido	350 a 560
	Temperado e Revenido	350 a 1250

(1) Aço CMn, CMnSi, com ou sem Al, Nb, V, Ti.  
(2) Cr + Ni + Cu + Mo + V  $\leq$  1%  
(3) Elementos de Liga cada um com %  $\geq$  0,50



Elementos como Ni, Cr, Mo, Cu que influenciam o processo de transformação no sentido de uma aceleração do resfriamento e como consequência um refino de grão.

Atualmente parece que a 1ª série de elementos que se combinam com o N<sub>2</sub> ou o C são preferidos (principalmente na Europa) (9).

Por outro lado, se constata para esta classe de aços uma certa tendência em se obter valores de limite de resistência seja por laminação controlada em condições bem estreitas, seja por tempera e revenido de um aço não ligado e baixo C (0,10 a 0,14%) e + 1,0% de Mn. Porém, este tipo de fabricação depende das instalações dos fornecedores.

- b) Os aços utilizados no estado tratado: quando se deseja obter aços cujos valores mínimos de limite de resistência superiores a 550N /mm<sup>2</sup>, será preciso efetuar um tratamento de tempera e revenido.

O efeito favorável deste tratamento é devido ao refino do grão provocado pela tempera, bem como a distribuição dos carbonetos extremamente finos devido ao revenido.

Os elementos de liga utilizados são no conjunto os mesmos que se utilizam em aços no estado bruto de laminação ou normalizados, tais como : Ni, Cr, Mo, Cu de um lado e V, Ti, Zr do outro. Porém deve-se acrescentar que a presença de teores da ordem de alguns milésimos de B melhora os resultados da tempera e revenido.

## 2. O CONCEITO DE SOLDABILIDADE

### 2.1. Definição Internacional de Soldabilidade .

A recomendação R581 de 1967 da ISO define soldabilidade como:

Considera-se que um material metálico é soldável a um grau da do, por um processo de soldagem e para um tipo de aplicação da do, quando ele se presta, através de precauções correspondentes à este grau, à realização de uma construção entre os elementos do qual é possível se assegurar a continuidade metálica pela constituição de juntas soldadas, que, por suas características locais e as consequências globais de sua presença, satisfazam às propriedades requeridas e escolhidas como base de julgamento.

### 2.2. Consequências da Definição

Constata-se que a soldabilidade é uma propriedade qualitativa para a qual os critérios de julgamento serão função das realizações desejadas e seu destino.

Para cada construção soldada se colocará então o problema de sua integridade e das consequências da ruína total ou parcial sob três pontos de vista :

- Humano.
- Econômico .
- Ecológico.

O aço no estado de entrega é so um dos fatores desta integridade.

Define-se normalmente uma boa construção soldada, como sendo - aquela na qual a matéria construtiva é colocada em qualidade e em quantidade onde ela é necessária e, unicamente, onde ela é necessária.

Uma construção soldada racional utiliza diversos tipos e qualidades de aços, entre os quais a continuidade metálica é assegurada por cordões de solda e cuja sua presença na construção metálica deve ser examinada.

#### 2.2.1. Grau de Soldabilidade

Na definição está indicado um "grau de soldabilidade" ao qual correspondem "precauções" que devem ser tomadas quando da soldagem para que se possa assegurar um resultado satisfatório. Isto significa que soldabilidade não se define por um julgamento positivo ou negativo, mas que ela é apreciada através das disposições que devem comportar o programa de soldagem.

Por exemplo, um aço de baixo C não ligado e acalmado e que apresenta uma taxa de pureza convencional não gera problemas particulares quanto à escolha do modo operativo de soldagem, ao passo que um aço baixa liga, auto-temperável, não poderá ser soldado sem que se tome precauções relativas à escolha do processo, do metal de adição, do tratamento térmico etc. Assim, um e outro aços são perfeitamente soldáveis, mas com graus diferentes.

O grau de soldabilidade pode ser definido também por um conjunto de propriedades (compreendendo para os aços a resistência à ruptura frágil), que fazem um material mais ou menos apto a um tipo de construção e a um uso. É por isso que a maior parte das normas ou especificações relativas aos aços para construções soldadas comportam várias classes de aços, oferecendo um escalonamento de garantias de soldabilidade, de onde o usuário deverá escolher em função do grau de segurança que a construção projetada requer e seus riscos correspondentes.

### 2.2.2. Influência do Processo de Soldagem

Cada processo de soldagem traz consigo características térmicas, químicas e metalúrgicas bem particulares de modo que, as exigências relativas à composição química de um material dito soldável não são as mesmas para todos os processos de soldagem.

Por exemplo :

- 1) a diferença da diluição na soldagem com eletrodo revestido e a arco submerso, faz com que o C e as impurezas do aço de base gerem diferentes características no metal fundido pelos dois processos:
- 2) a diferença do ciclo térmico, como a velocidade de resfriamento mais elevada no caso de soldagem por pontos a resistência do que aquela da soldagem a arco; assim é possível soldar ligas de alumínio ou aços inoxidáveis não estabilizados por soldagem e resistência, sendo que por arco elétrico não é possível.

Em termos de processo de soldagem deve-se considerar a influência do modo operatório.

### 2.2.3. Influência do tipo de aplicação desejada

O "tipo de aplicação" que se deseja deve ser levado em consideração no estudo da soldabilidade, pois ele determina as propriedades que se requer e que se escolhe como base de julgamento durante os ensaios de soldabilidade. Toda a soldagem, qualquer que seja o processo, provoca por sua execução uma ou outra modificação de constituição físico química ou de estrutura. Modificação esta que se representa no conjunto das propriedades locais ou globais.



Ao se introduzir o tipo de aplicação na definição de soldabilidade, se objetivou evidenciar que o julgamento deve ser tomado sobre as propriedades essenciais que correspondem a tal aplicação, e não sobre todo o conjunto de propriedades, o que tornaria soldabilidade um conceito utópico.

Por exemplo, limitou-se à composição química e à tenacidade como as características de soldabilidade dos aços de construção; enquanto que, para um aço inoxidável após a soldagem (estabilização) a característica fundamental é manter-se inoxidável. Em outros casos, as características fundamentais como : estanqueidade, condutibilidade elétrica, resistência à abrasão etc., devem ser constatadas após a soldagem.

Assim, em função das propriedades desejadas para utilização das construções soldadas, é que são escolhidos os critérios de julgamento, sobre os quais se deve basear para apreciar a soldabilidade de um metal ou liga.

Quando a influência da composição química sobre a soldabilidade é suficientemente conhecida, pode-se em função deste critério de julgamento fixar os limites de composição para definir produtos soldáveis.

Tal é, por exemplo, o caso dos aços austeníticos do tipo cromo-níquel, onde se conhece bem as condições de estabilidade seja pelo C ou por adições de elementos estabilizantes como Nb ou Ti.

Às vezes, deve-se completar estas informações com indicação de uma propriedade particularmente importante para garantir o comportamento da construção. É o caso, dos aços não ligados, para os quais se costuma tomar como base geralmente a composição química e a tenacidade (em di

ferentes temperaturas segundo as classes).

Enfim, quando o comportamento à soldagem é muito com plexo para ser previsto somente pela análise química - em ensaios simples, dever-se-á fazer o uso dos ensa ios de soldabilidade, que tentam fazer intervir os efe i tos dos fatô res, que conhecidos ou não, governam o com portamento de construção em questão.

### 2.3. Tipos de Soldabilidade

#### 2.3.1. Soldabilidade Operatória

É aquela que se apresenta no momento exato da execução da soldagem, quando o comportamento do metal ou liga a ser soldado gera um obstáculo à execução da soldagem - propriamente dita (23).

Exemplos :

- 1) presença do óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) que é estável e refratário e dificilmente redutível;
- 2) alta condutibilidade térmica do cobre e suas ligas;
- 3) agitação e fluidez do banho de fusão, caso de solda gem oxiacetilênica de chapas finas;
- 4) estado superficial do metal de base em soldas por - resistência em chapas enferrujadas;

#### 2.3.2. Soldabilidade Local ou Metalúrgica

É aquela que se apresenta quando no ato de se realizar uma soldagem, se tem as zonas fundida, de ligação ou ter micamente afetada alteradas devido à operação em si, a ponto de colocar em dúvida o comportamento da estrutura nas condições previstas de serviço (23).



Exemplos :

- 1) Cu, contendo inclusões de  $\text{Cu}_2\text{O}$ , que após o ciclo de soldagem no resfriamento gera a precipitação do eutético,  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$  que fragiliza o metal;
- 2) aço inoxidável não estabilizado que sob o efeito do ciclo térmico de soldagem precipita carbonetos intergranulares;
- 3) sobre-revenido de aços baixa liga em estado inicial temperado e revenido.

### 2.3.3. Soldabilidade Global

A experiência da construção soldada mostrou que a possibilidade de execução das juntas (soldabilidade operatória) e uma qualidade aceitável destas juntas consideradas isoladamente (soldabilidade local) não são suficientes para assegurar o sucesso de uma construção soldada constituída por essas juntas (23).

A soldabilidade global, diz respeito ao comportamento de um material usado em uma estrutura soldada; ou seja, uma construção que contendo juntas soldadas é, durante ou após a soldagem, sede de tensões induzidas em uma estrutura que se tornou monolítica pelas próprias juntas.

Exemplo :

- 1) ao grau de restrição da junta de solda corresponde o fenômeno de trincas, podendo ser à quente (quando há formação de uma fase de baixo - ponto de fusão intergranular) ou à frio (quando associado ao fenômeno de tempera e à presença de hidrogênio).

3. PROBLEMAS QUE ADVÊM DA PRESENÇA DE UM DEFEITO NO CORDÃO DE SOLDA

Dentre os defeitos que se podem constatar no cordão de solda, temos :

- a) Os defeitos geométricos oriundos normalmente de prática operatória errada e/ou quando os conceitos técnicos usuais não são seguidos. Estes defeitos merecem tanta consideração quanto os outros tipos de defeitos, de modo que, devem ser considerados em conjunto.
- b) Os defeitos metalúrgicos, podem ser dos seguintes tipos: trinca a quente, arrancamento lamelar, trinca a frio e trinca ao reaquecimento.

3.1. Efeitos da Junta Soldada em uma Construção metálica

Evidentemente em comparação com o material sem solda, aquele soldado aumenta o risco de ruína por ruptura na medida em que :

- de um lado, o cordão de solda, pode ser :

- a) fonte de defeitos de soldagem, sejam eles : geométricos (mordeduras, falta de penetração) ou metalúrgicos (trincas);
- b) o elemento que agrave defeitos já existentes no metal base (decoação lamelar, arrancamento sobre inclusões, etc.).

- de outro lado, a continuidade metálica só atingida com a soldagem pode se transformar em catástrofe, na medida em que o monolitismo da estrutura permite que uma trinca se propague indefinidamente. Este tipo de trinca pode ter origem no próprio cordão de solda e geralmente se propaga através do metal base.

A escolha da qualidade do aço assume então uma importância muito grande no conjunto soldado; principalmente se há a eventualidade de uma ruptura frágil, dever-se-á descartar o uso de material que não tenha garantias quanto à sua tenacidade.

### 3.2. Trincas a Quente

Este tipo de defeito normalmente não é encontrado nos aços aqui considerados. (12)

Se, por exemplo, ele se produzir, geralmente se traduz pela presença de trincas longitudinais, mais correntemente no metal fundido e atribuídas à existência de tensões importantes no momento em que o metal ainda está muito quente.

A composição química do metal fundido é importante (quer dizer aquela do metal de adição mais a do metal base que participou da junta), onde se deverá cuidar particularmente os teores de S, P, C.

O Instituto Internacional da Soldagem considera como desejável, que no que diz respeito à composição do metal fundido (em soldagem manual a arco), o seguinte :

$$S < 0,04\%, \quad P < 0,04\%, \quad C \leq 0,13\% \text{ e } \frac{Mn}{S} \geq 20$$

o que se verifica na quase totalidade dos casos.

Com respeito à soldagem a arco submerso, dever-se-á considerar a diluição nos dados fornecidos acima. Além do mais, para este processo de soldagem, a trinca a quente pode ser agravada por uma má configuração do cordão de solda.

Recomenda-se para este caso manter um valor suficientemente elevado da relação, largura/profundidade do cordão (por exemplo :  $l/p = 0,7$ ), conforme figura 5.

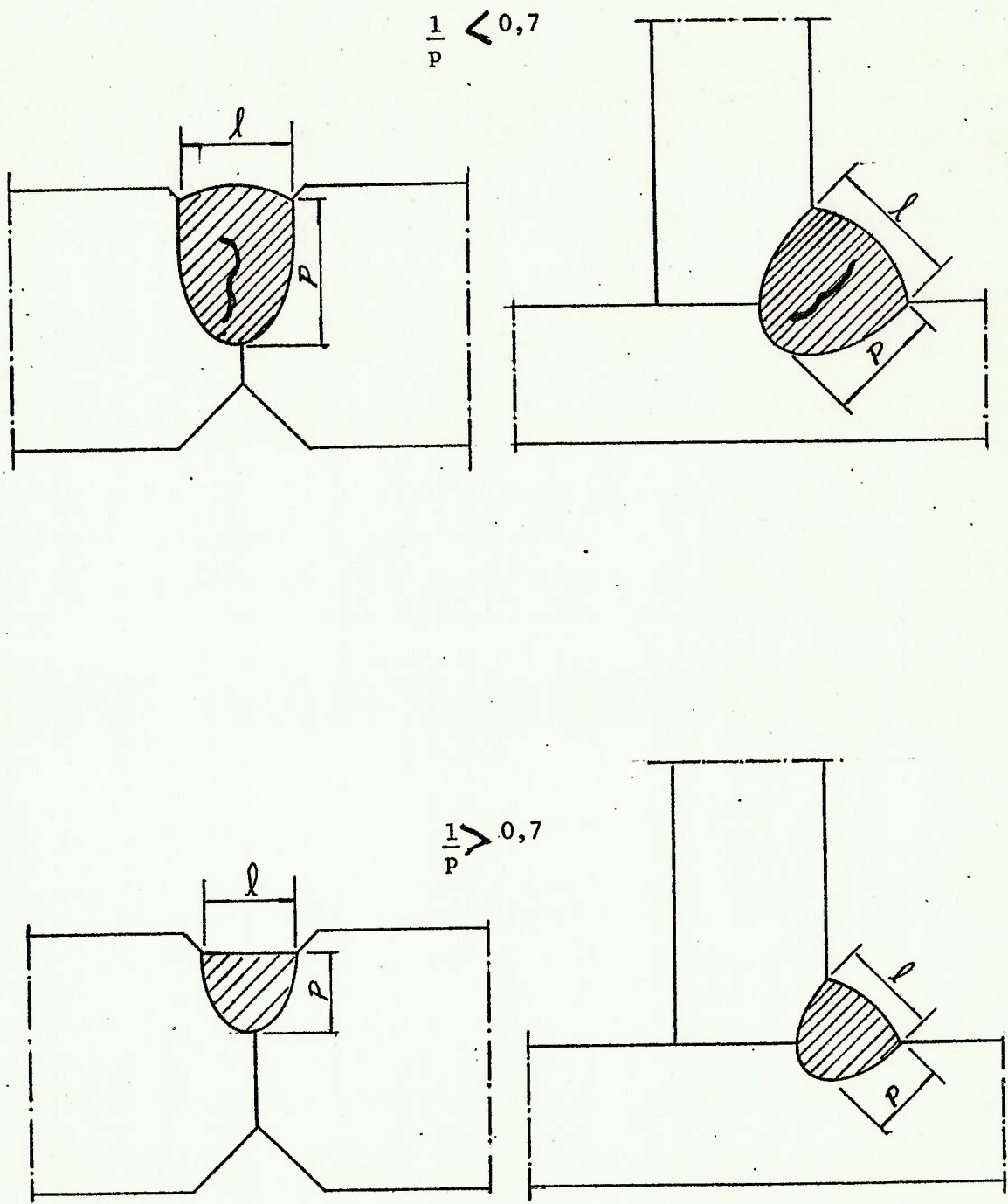


FIGURA 5 - CONFIGURAÇÃO DE UM CORDÃO DE SOLDA (12)

### 3.3. Trinca por Decoção Lamelar

É consequência de uma trinca que se propaga paralelamente à superfície de um produto laminado, no local de um cordão de solda que solicita este material na direção da espessura, conforme figura 6.

A aplicação dos conceitos técnicos usuais permite em geral uma boa prevenção contra este risco.

Dever-se-á então, principalmente cuidar dos seguintes pontos :

- a) - o traçado das juntas : tratar-se-á de evitar por uma escolha cuidadosa da preparação das peças, as solicitações diretamente perpendiculares à superfície dos produtos conforme figura 7;
- b) - a escolha dos metais de adição : em nenhum caso dever-se-á utilizar eletrodos conduzindo a um metal de adição que tenha um limite de resistência superior à resistência efetiva do metal base.

Na medida onde as exigências de construção permitem (caso de soldas de ângulo por exemplo), se escolherá um metal de adição com um limite de resistência o mais baixo possível. Esta medida é particularmente eficaz e pode - por isso ser limitada aos passes de solda que estão imediatamente em contacto com a superfície da chapa em questão (faz-se uma cama),

- c) - a sequência de soldagem;
- d) - o atracamento das juntas ;

No que tange à escolha de aços é preciso assinalar que a melhoria da resistência à decoção lamelar não está ligado aos níveis de qualidade definidos pela tenacidade do metal base.



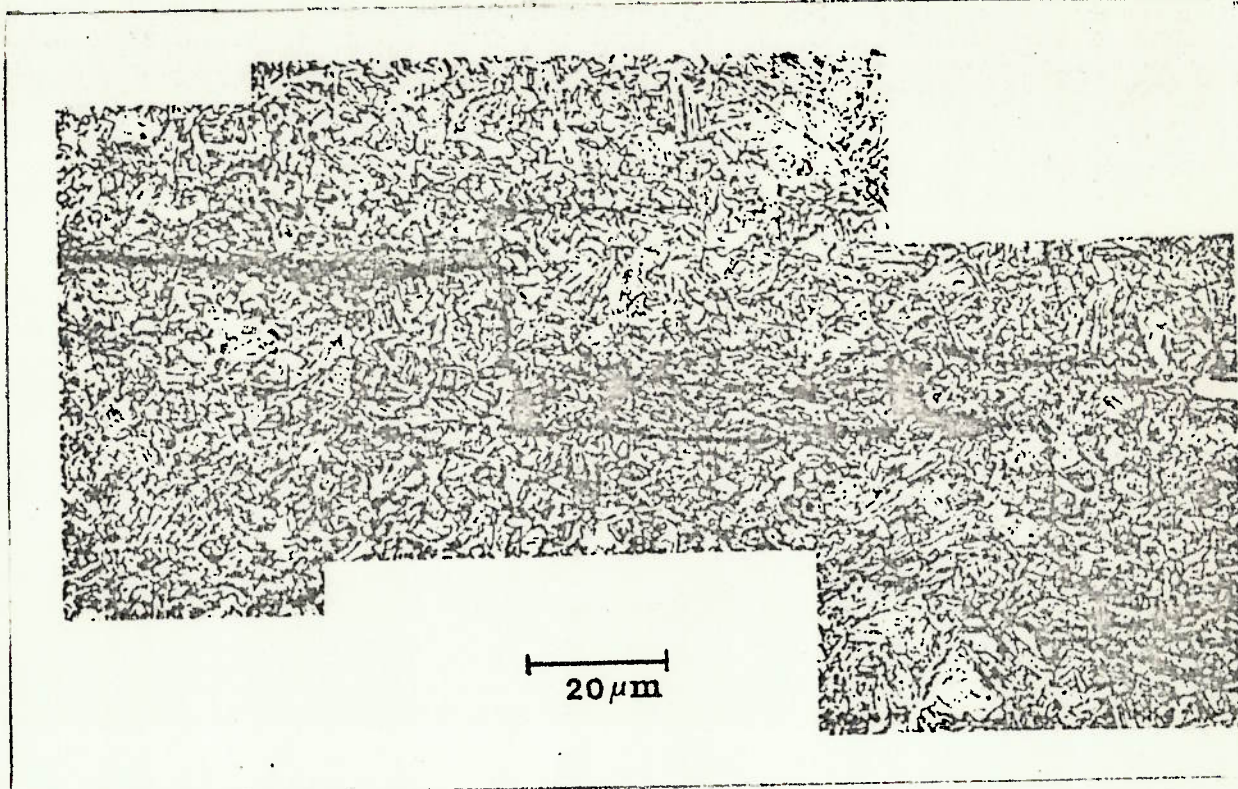


FIGURA 6 - TRINCA POR DECOESÃO LAMELAR (12)

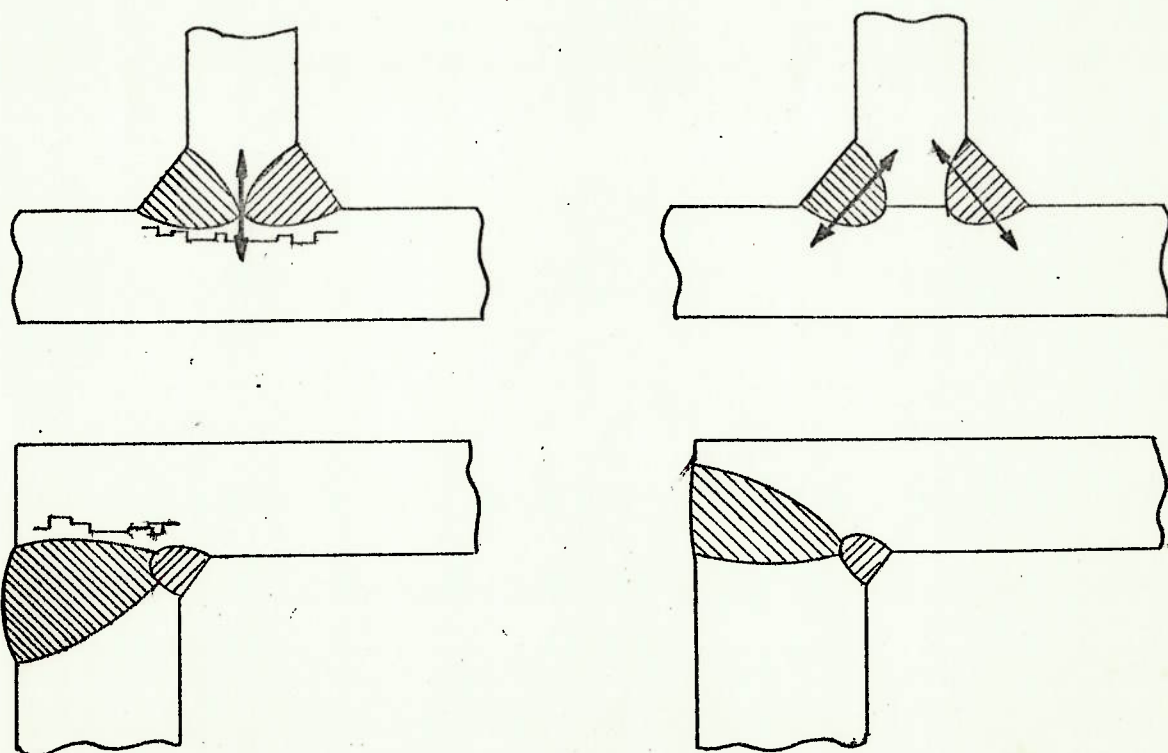


FIGURA 7 - PROJETO DA JUNTA - DECOESÃO LAMELAR (12)



Aços de qualidade que possuem níveis garantidos de dutilidade no sentido da espessura (qualidade Z) e então menos susceptíveis aos riscos de decoesão lamelar podem ser obtidos, porém são extremamente caros. Os tipos correspondentes são obtidos após uma acalmagem especial que confere ao aço uma estrutura de grãos finos e não têm (salvo convenção em contrário) um limite de rêsistência mínimo garantido superior à  $420 \text{ N./mm}^2$ .

No caso, onde um ensaio de dutilidade no sentido da espessura é desejável, pode-se efetuar ensaio de tração o qual fornece uma informação complementar interessante sobre as características do material.

A experiência mostra que a solução mais econômica rara mente é a de se utilizar um aço com características de dutilidade elevada no sentido da espessura.

A solução de se escolher aços especiais para evitar o problema de decoesão lamelar só é técnica e economicamente viável quando se tratar de construções particulares, muito complexas, com pouco ou nenhum grau de liberdade e sujeitas à solicitações elevadas; como por exemplo plataformas marítimas de exploração de petróleo.

Nos casos de construções mais simples a melhor prevenção contra este tipo de defeito é uma escolha correta do desenho da junta, dos metais de adição e da sequência de soldagem.

### 3.4. Trincas a Frio

É o defeito de maior ocorrência em soldagem dos aços, pesquisa efetuada no Japão demonstrou que 90% das trincas são oriundas da trinca a frio (13). Sua incidência é tão significativa que a noção de soldabilidade dos aços é normalmente confundida com sua suscetibilidade a este tipo de defeito.

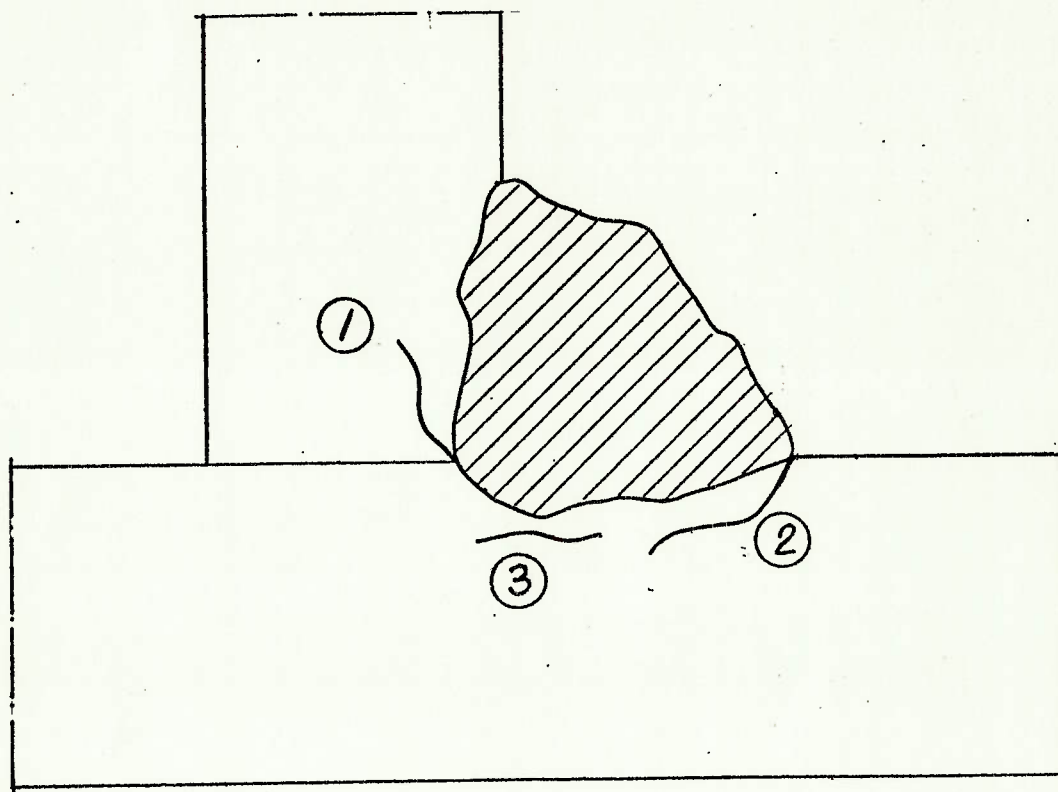
A necessidade de se evitar a ocorrência deste tipo de defeito foi a fonte de maior parte dos critérios normalmente evocados no contexto de soldagem dos aços; tais como : carbono equiva lente, dureza sob cordão, etc. cujas validades não são absolu tas.

É preciso frisar, que nos aços deste estudo o defeito de trinca a frio geralmente só está presente quando o processo de solda gem é manual a arco elétrico com eletrodo revestido e muito ra ramente quando a soldagem é protegida por gases (a menos dos processos a arame tubulares) e praticamente não se verifica no processo o arco submerso.

As trincas a frio são geralmente transgranulares (13) e podem ocorrer durante a soldagem ou após a sua execução, havendo mesmo casos onde podem aparecer após semanas. Tanto assim, que as normas de construções de plataformas marítimas prescrevem exames não destrutivos da junta soldada somente 48 horas e as nucleares 7 dias após sua conclusão (14).

As trincas a frio podem surgir sob diferentes formas como na figura 8, onde se tem :

- (1) trinca na raiz;
- (2) trinca no pé do cordão;
- (3) trinca sob cordão em geral elas se colocam paralelamente à linha de fusão.



- (1) TRINCA NA RAIZ.
- (2) TRINCA NO PÉ DO CORDÃO
- (3) TRINCA SOB CORDÃO.

FIGURA 8 - EXEMPLOS DE TRINCAS A FRIO. (15)

A trinca a frio está sobremodo ligada ao primeiro passe de solda (passe de raiz). É então, sobretudo, neste passe que se deve ter o máximo de cuidado devendo ser seguidos todos os conceitos técnicos usuais para o caso.

#### 3.4.1. Causas das trincas a frio

- a) Devido à existência de forças de atracamento e de retração, que se manifestam ao nível da junta soldada.
- b) Devido à tempera do metal situado nas vizinhanças da linha de fusão e associada à introdução de hidrogênio no banho de fusão no momento da soldagem.

Entende-se por tempera um resfriamento suficientemente rápido, do metal da zona termicamente afetada, capaz de gerar a formação nesta região de uma estrutura parcial ou completamente martensítica.

#### 3.4.2. Influência do grau de restrição da junta soldada na trinca a frio

São as forças aplicadas aos cordões de solda resultantes de retrações impedidas e/ou de forças exercidas sobre os elementos soldados imediatamente após a soldagem.

Estas forças dependem evidentemente da natureza do elemento considerado e influem consideravelmente no todo.

Em muitos casos, uma breve reflexão sobre o projeto da estrutura e a escolha da sequência de soldagem-poderá diminuir sobremaneira o risco de forças elevadas quando da soldagem ou logo após dela.

Atualmente há uma certa dificuldade em se definir de modo preciso os níveis de forças que atuam em função - do tipo de construção (14). Entretanto, é possível se ter uma pequena idéia usando-se o quadro da figura 9.

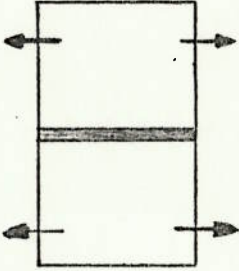
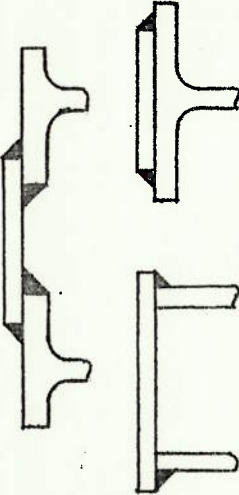
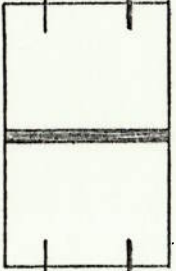
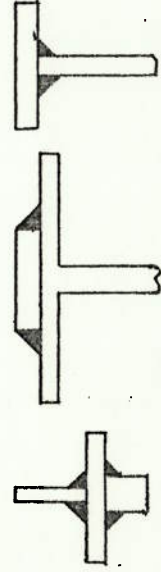
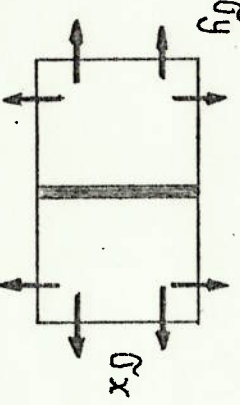
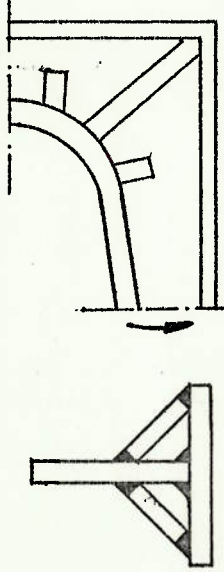
Nota-se, particularmente que, alguns pequenos cordões de enchimento de ranhuras abertas por eletrodo de carvão ou de fendas são configurações de juntas que levam a forças extremamente elevadas.

### 3.4.3. A influência da estrutura do metal a ser soldado na trinca a frio

Conforme se verificou em 2.3. a soldabilidade é uma propriedade particular no sentido em que põe em jogo não só o metal base, mas também o metal de adição. Isto, principalmente, no que diz respeito ao teor de  $H_2$  - contido (16). Assim, define-se um aspecto essencial da propriedade da soldabilidade, a saber soldabilidade local ou metalúrgica, conforme 2.3.3., que mostra as modificações físico-químicas que ocorrem nos metais soldados.

A soldabilidade metalúrgica está então intimamente ligada à natureza do metal base. À partir de ensaios de laboratório, em condições de perfeita reprodutibilidade (16) se mostrou que os fatores que favorecem o surgimento da trinca a frio estão ligados essencialmente à quantidade de martensita formada na Z.T.A. durante a soldagem. Assim, a partir destes ensaios conclui-se - que um teor de martensita inferior à 80% pode conduzir à uma segurança relativa do ponto de vista de riscos - de trinca a frio. Um dos modos de se evitar a trinca a frio é utilizar condições de soldagem que levem à formação de teores inferiores à 80% de martensita na Z.T.A. (16).



 <p><math>\sigma_y</math></p>		PEQUENO
 <p><math>\sigma_x</math></p>		MÉDIO
 <p><math>\sigma_y</math> <math>\sigma_x</math></p>		ELEVADO

EXEMPLOS DE FORÇAS DE ATRACAMENTO. (12)



Por isto, é desejável que se conheça quantitativamente as relações entre quantidade e natureza dos constituintes formados na Z.T.A. de um lado e os parâmetros de soldagem do outro. Entretanto, é mais simples utilizar a curva dureza, parâmetro de resfriamento - conforme figura 10. Por outro lado, o parâmetro de resfriamento, pode ser ligado às condições operatórias de soldagem por intermédio do ábaco representado na figura 11

Assim sendo, o problema fica restrito a estimar a dureza correspondente à uma estrutura contendo 80% de martensita e 20% de outros constituintes residuais tipo bainítica.

Segundo a lei das misturas a dureza crítica ( $H_{vc}$ ) pode então ser definida por :

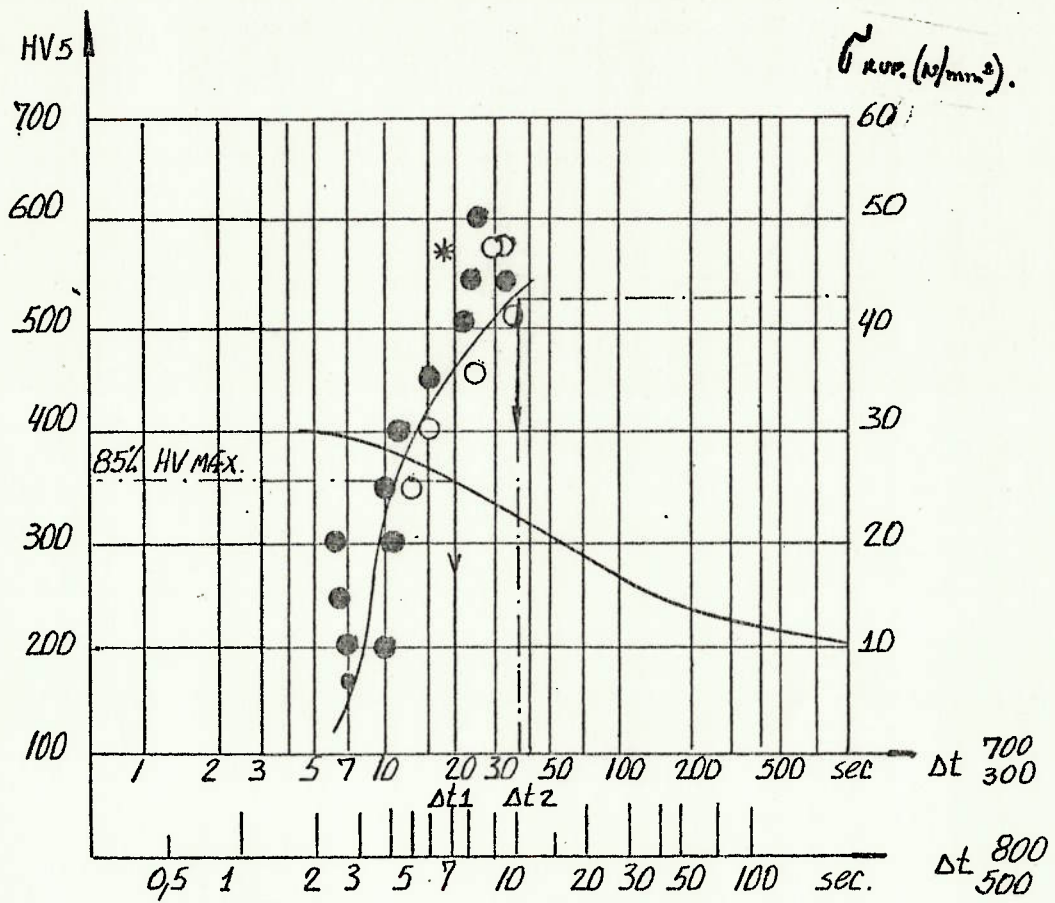
$$H_{vc} = 0,8 H_{vm} + 0,2 H_{vb} \quad (1)$$

A dureza dos constituintes bainíticos  $H_{vb}$  é difícil de ser definida, porém pode-se admitir sem grande erro que para os aços em questão,  $H_{vc} \approx 0,85 H_{vm}$ .

Assim, esta dureza crítica ( $H_{vc}$ ) é aquela a qual será desaconselhável que se ultrapasse, caso se queira evitar trinca a frio.

O uso da curva dureza X parâmetro de resfriamento permite que, em se conhecendo a dureza crítica, se possa obter praticamente o parâmetro mínimo de resfriamento possível de se utilizar.

Por outro lado, a dureza crítica agora definida é fácil de ser calculada, pois a dureza martensítica pode ser praticamente definida com o teor de carbono conforme:  $H_{vm} \approx 283 + 930\%C$  logo  $H_{vc} = 240 + 790\%C$ .



- \* - RUPTURA
- - NÃO TRINCA
- - TRINCA

FIGURA 10 - CARACTERÍSTICAS DE SOLDABILIDADE DO AÇO CONSIDERADO. (16)

Deste modo, se considera que condições de soldagem que conduzam à durezas maiores que este limite já estão em um domínio proibido, conforme representação gráfica da figura 12.

Em se conhecendo a curva dureza X parâmetro de resfriamento (curvas IRSID) e os âbacos da figura 11, pode-se, em se considerando como critério o parâmetro de resfriamento correspondente a 85% da dureza máxima, traçar uma fronteira correspondente à uma curva do isoterma  $\Delta t$  que se define uma zona dita desaconselhável para soldagem. Isto significa, que a soldagem do aço neste domínio deverá ser efetuada em se considerando precauções particulares notadamente um pós-aquecimento.

Assim, pode-se estimar que fora do domínio proibido sem pós-aquecimento; a soldagem normalmente é possível no caso de utilização de eletrodos à baixo hidrogênio, (corretamente secos) e para condições de atracamento - normais (retração livre e sem auto-atracamento, etc.). Toma-se então, como critério que permite determinar as condições de soldagem no interior do domínio permitido, o parâmetro de resfriamento correspondente à uma tensão de trinca igual ao limite de resistência garantido do tipo de aço para as condições escolhidas.

- O gráfico da figura 12 permite determinar 3 domínios:
- domínio 1 - desaconselhável à soldagem sem pós-aquecimento;
  - domínio 2 - soldagem permitida, porém algumas precauções devem ser tomadas em função das condições operatórias;
  - domínio 3 - soldagem permitida em qualquer condição.

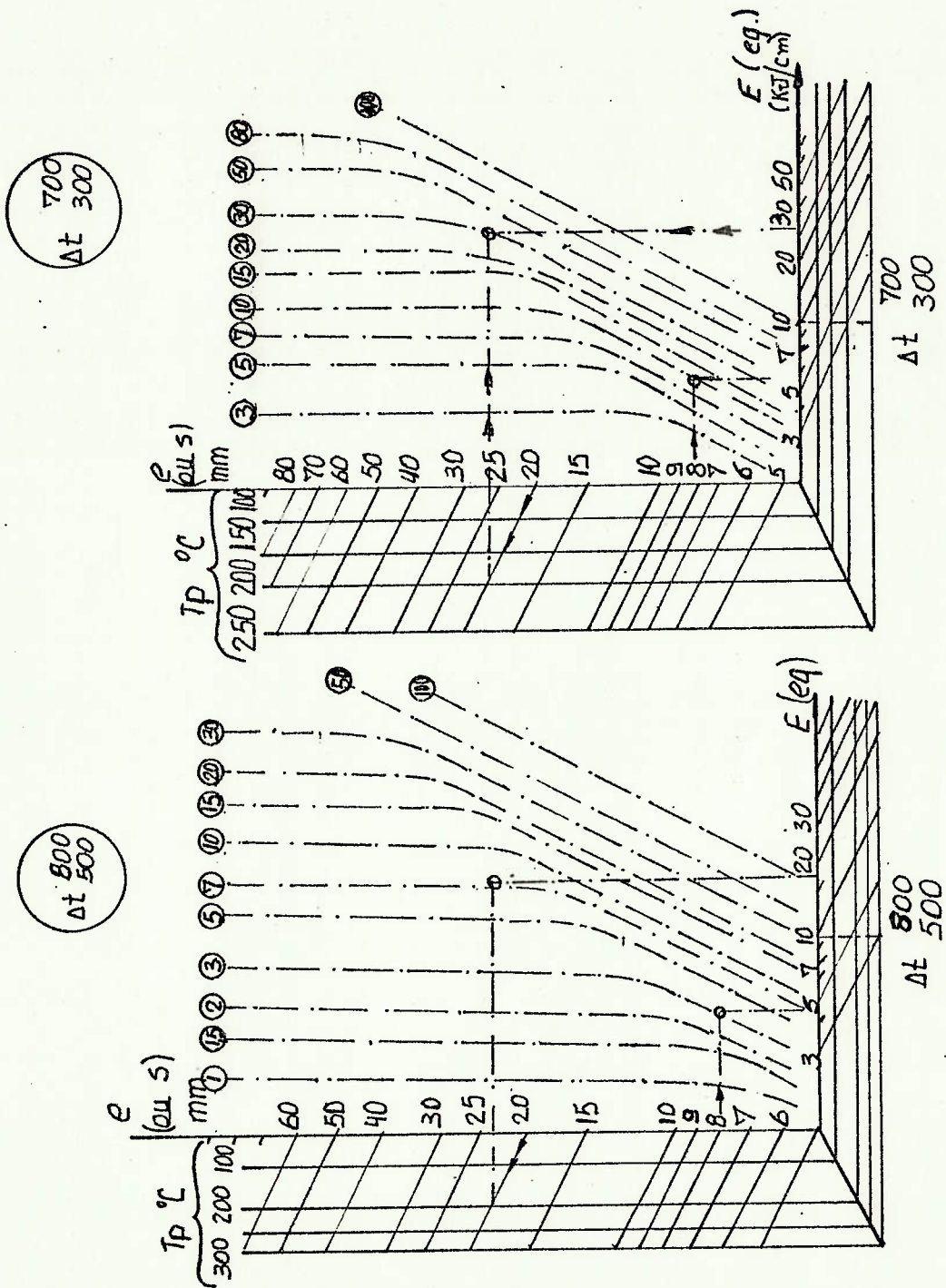


FIGURA 11 - RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE RESFRIAMENTO E AS CONDIÇÕES OPERATÓRIAS DE SOLDAGEM. (16)

O uso de pré-aquecimento faz com que haja um deslocamento do isoterma  $\Delta T$ , de modo reduzir o domínio de soldagem desaconselhável, figura 13.

#### 3.4.4. A Influência do Hidrogênio na Trinca a Frio

O hidrogênio na reação entre o metal fundido e o meio gasoso que o cerca, normalmente provem da umidade absorvida pelos fluxos, revestimentos ou mesmo pelas películas de óxido do arame de adição. Pode também ser proveniente da água de cristalização de certos produtos que intervêm nos revestimentos ou do vapor d'água de combustão das matérias orgânicas de certos revestimentos (22).

Decomposto no arco elétrico, o vapor d'água forma hidrogênio ele próprio dissociado em mono-atômico ou forma de ions  $H^+$ .

Nos aços, os ions  $H^+$  são tanto mais susceptíveis de se dissolver no metal fundido, como indicado na figura 14 (curva de Sieverts), quanto a temperatura seja mais elevada por causa da grande velocidade de resfriamento. A solidificação se desenvolve de tal modo que, o metal fundido de um cordão efetuado com eletrodo revestido pode reter em solução super-saturada muito mais hidrogênio que o indicado na curva de Sieverts (que dá o resfriamento normal) da ordem de várias dezenas de  $cm^3$  para um eletrodo com revestimento celulósico e de menos de  $10 cm^3$  para um eletrodo básico seco.

Após o resfriamento, o hidrogênio, dissolvido em excesso no estado de prótons, tende a se difundir espontaneamente para sair do metal fundido; esta difusão é tão mais rápida quanto maior for a temperatura, de

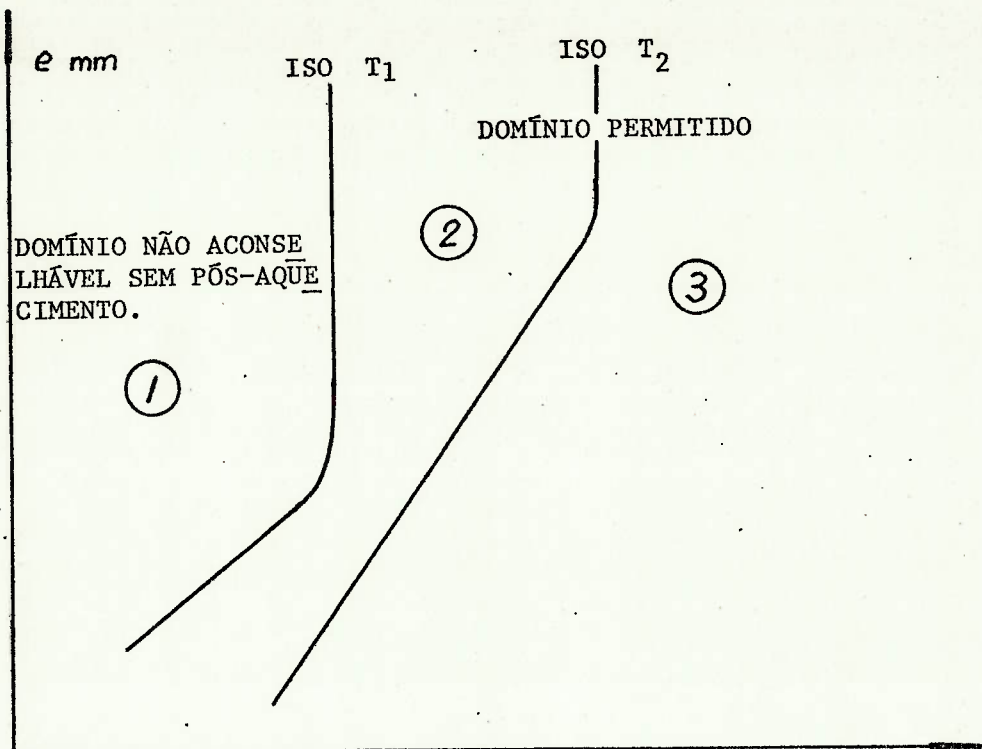


FIGURA 12 - DOMÍNIOS DE SOLDABILIDADE SEM PÓS-AQUECIMENTO. (16)

$Eq$  kJ/cm

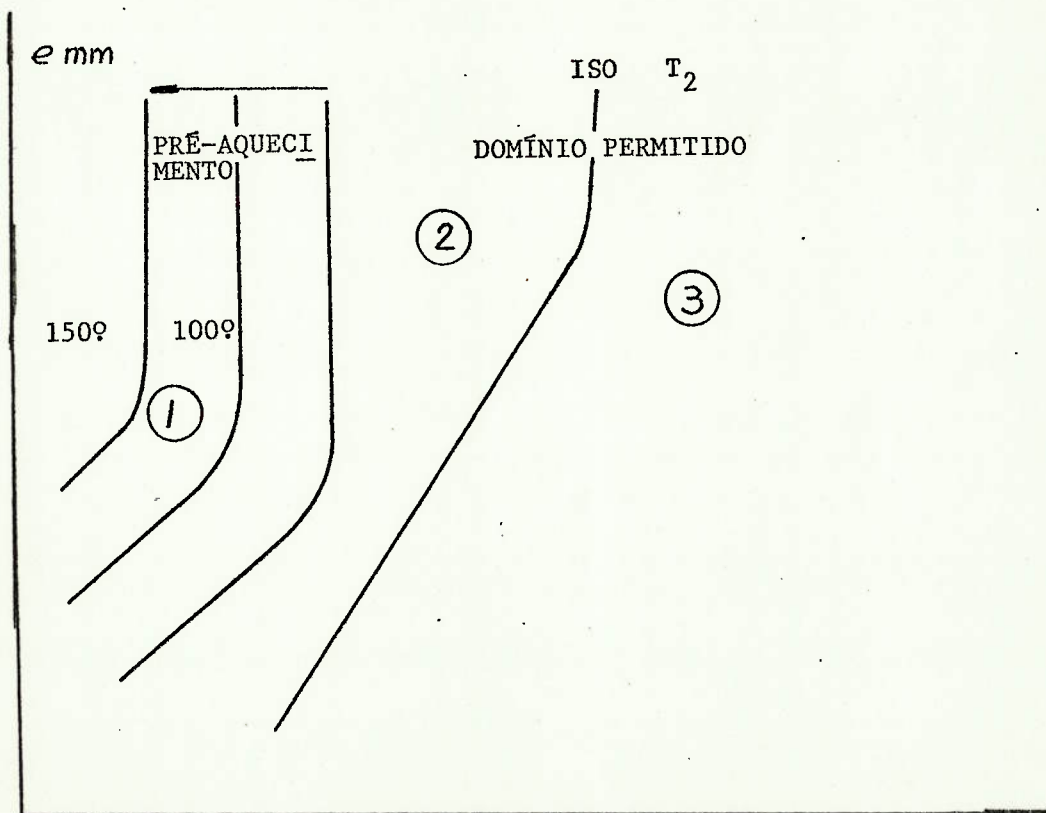


FIGURA 13 - DOMÍNIO DE SOLDABILIDADE COM PRÉ-AQUECIMENTO. (16)

$Eq$  kJ/cm



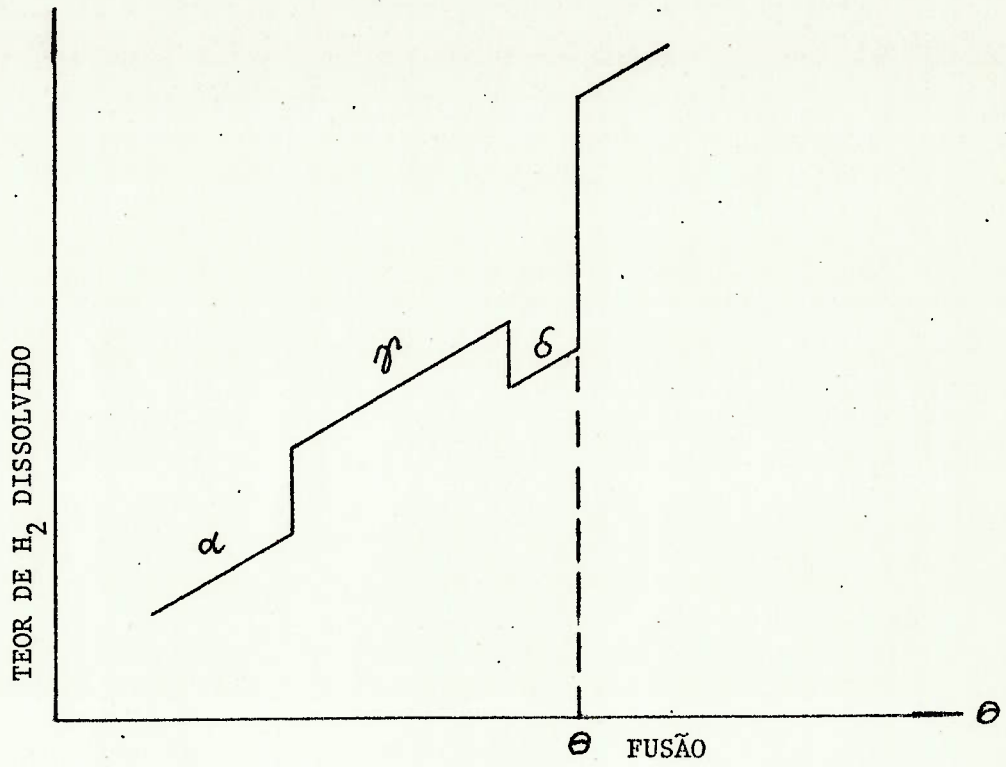


FIGURA 14 - CURVA DE SIEVERTS. (18)

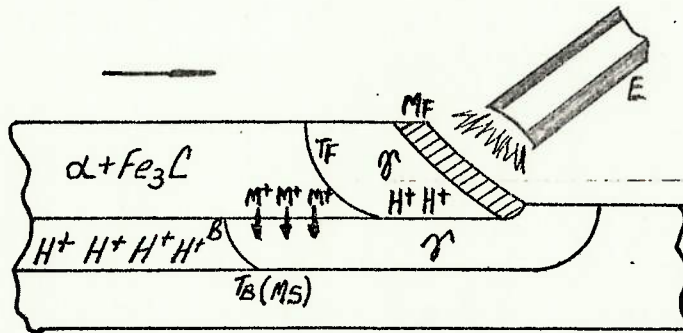


FIGURA 15 - MECANISMO DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO NO CORDÃO DE SOLDA. (18)

modo que à temperatura ambiente a difusão é lenta.

Quando se deposita um cordão de solda sobre um aço temperável com os parâmetros normais da soldagem se verifica um fraco desprendimento de gás. A razão é que o hidrogênio se difundiu durante o resfriamento do metal fundido para o metal base conforme mecanismo explicado em (18) e esquematizado na figura 15.

A figura representa o corte longitudinal de um cordão de soldagem a arco com eletrodo revestido em um certo instante; assim o eletrodo E deposita o metal fundido MF que após solidificado passa ao estado austenítico - desprezando a passagem pela fase  $\delta$

Nestas condições, o metal solidificado contém uma certa quantidade de hidrogênio cujo estado de saturação aumenta com a queda da temperatura, mas que não se difunde facilmente no sentido do metal base, pois o coeficiente de difusão na austenita é baixo. Quando o metal fundido ao se resfriar atinge a temperatura  $T_f$  de transformação em ferrita e cementita, a brusca descontinuidade da solubilidade do hidrogênio na passagem do ponto de transformação provoca uma migração forçada dos prótons em direção à zona termicamente afetada do metal base que é ainda austenítica até a isoterma  $T_b$  de transformação martensítica do metal base, isto é, o ponto MS.

Assim, durante todo tempo que decorre entre A e B, o hidrogênio pode atravessar a linha de fusão e se agrupar do outro lado, de forma que a transformação martensítica, quando ela ocorre afeta uma austenita localmente carregada em hidrogênio.

Cria-se assim uma das condições para o surgimento de trinca a frio ou sob cordão.

Deste modo, são as seguintes as precauções que são recomendadas para se efetuar uma correta prevenção contra a introdução do hidrogênio na poça de fusão (18), (19):

- escolha e acondicionamento dos eletrodos;
- qualidade da junta, limpeza das peças e condições de execução da soldagem;
- escolha dos parâmetros de soldagem.

#### 3.4.4.1. Escolha e Acondicionamento dos Eletrodos :

Salvo casos particulares, os eletrodos com revestimento celulósico não deverão ser utilizados. Eletrodos rutilicos ou com revestimentos com pó de ferro só poderão ser utilizados em certos casos; os eletrodos básicos (à baixo hidrogênio) são preferíveis em todos os casos e são praticamente obrigatórios a partir de limites de escoamento do metal base superiores à  $300 \text{ N/mm}^2$ . Os eletrodos deverão estar não somente em bom estado de conservação, mas também corretamente secos (22).

- Boa conservação : as caixas devem ser mantidas até o momento de utilização, no caso de caixas abertas os eletrodos deverão ter sido conservados em estufa cuja temperatura de no mínimo  $10^\circ\text{C}$  superior à de ambiente e ao abrigo de umidade. Eletrodos excêntricos, com quebra de revestimento ou

com marcas de ferrugem na alma deverão ser inutilizados.

- Secagem : os eletrodos (uma vez suposto em bom estado de conservação) devem ter sido secos à temperatura entre 300 a 350°C durante duas horas e no máximo por 10 horas (o que evita a queima do revestimento) para aços com limite de escoamento menor que  $300\text{N/mm}^2$  a temperatura poderá ser da ordem de 250°C para secagem por três horas .

Após o ciclo de secagem os eletrodos deverão ser mantidos em uma estufa de manutenção à 150/200°C, de modo que, se deve armazenar a quantidade ideal para um dia de trabalho. Uma vez retirado das estufas de manutenção devem ser colocados nas estufas portáteis (cochichos) à temperatura de 105°C e 150°C com quantidade controlada de eletrodos .

Os eletrodos no momento da soldagem devem ser retirados no número máximo de 3 por vez, sendo que os dois que aguardam o uso devem permanecer em local seco e se possível na zona de pré-aquecimento da soldagem se houver.

Os fluxos para soldagem a arco submerso, principalmente os aglomerados são higroscópicos e exigem igualmente proteção contra umidade e devem ser secos no momento de uso.

#### 3.4.4.2. Qualidade e Limpeza da Junta Soldada

Um certo número de precauções elementares de vem ser tomadas.

Evitar-se-á principalmente soldar sobre pe ças úmidas ou sujas e se deve eliminar todos os traços de graxas ou óleos que possam ser ali depositados pelas ferramentas de corte, usinagem ou manutenção.

As operações de soldagem deverão ser efetua das ao abrigo de intempéries e quando a tem peratura das partes for inferior à do ambien te e/ou menor que + 5°C dever-se-á pré-aque- cer para evitar problemas de condensação.

#### 3.4.5. Influência dos Parâmetros de Soldagem

A escolha dos parâmetros de soldagem é importante para evitar os fenômenos de têmpera nas vizinhanças da li nha de fusão. De modo geral, os resfriamentos rápidos são desfavoráveis e as condições de resfriamentos são modificados de maneira importante pela escolha das - energias de soldagem ou as condições de pré-aquecimen- to.

A pesquisa das condições de soldagem poderá ser apoiada nas seguintes recomendações :

##### 3.4.5.1. Energia de Soldagem

É aquela efetivamente utilizada para execu tar a soldagem, quer dizer aquela fornecida ao nível do arco, ela se exprime em KJ/cm de cordão depositado segundo a fórmula abaixo:

$$E \text{ (KJ/cm)} = \frac{60 \times U \text{ (volts)} \times I \text{ (amperes)},}{1000 \times V \text{ (cm/min.)}}$$

onde U e I são respectivamente a intensidade de tensão e de corrente de soldagem e  $V = ve$  lócidade de depósito do cordão (e não velocidade de consumo de eletrodo).

A energia de Soldagem deve ser conhecida, e no caso onde não pode ser utilizado pode-se es timar nas tabelas 2 e 3 a partir do diâmetro do eletrodo, de seu rendimento, e do comprimento do cordão depositado para 10 cm de eletrodo consumido. Deste modo, para um eletrodo de  $\varnothing 4,0$  mm com rendimento de 110 ã 115% depositando 5 cm de cordão para 10 cm de eletrodo consumido gera uma energia de Soldagem  $E = 16$  KJ/cm. Nota-se que eletrodos com  $\varnothing = 2,5$  mm levam ã energias nominais baixas que podem dar origem ã trincas a frio, daí este diâmetro de eletrodo ser raramente utilizado em caldeiraria.

#### 3.4.5.2. Energia Equivalente de Soldagem

É o resultado de uma correção da energia no minal em função da geometria da junta soldada, do seguinte modo :

$$E_{eq} = K.E$$

O valor multiplicativo K está fornecido nas tabelas 4 e 5 para algumas das configurações geométricas mais correntes.

#### 3.4.5.3. Domínio da Soldagem

Uma vez conhecida a energia equivalente se poderá analisar diagramas como o da figura 16.



TABELA 2

Comprimento do cordão correspondente à 10 cm de eletrodo consumido em função do diâmetro do eletrodo e da energia de Soldagem (rendimento normal 110-115%). (12)

$\phi$ mm \ E (KJ/cm)	2,5	3,2	4,0	5,0
6	5,4	8,7	13,4	21,2
8	4	6,6	10,1	16
10	3,2	5,2	8	12,7
12	2,7	4,4	6,7	10,6
14	2,3	3,7	5,7	9,0
16	-	3,3	5,0	7,9
18	-	2,9	4,5	7,1
20	-	2,6	4,0	6,3
25	-	2,1	3,2	5,0
30	-	-	2,6	4,3
40	-	-	2,0	3,2
50	-	-	-	2,6

domínio normal de uso

TABELA 3

Comprimento do cordão correspondente a 10 cm de eletrodo consumido em função do diâmetro do eletrodo e da energia de soldagem (para eletrodos com pó de ferro e rendimento de 150 a 175%): (12)

$\begin{matrix} \text{E} \\ \text{(KJ/cm)} \end{matrix} \backslash \begin{matrix} \text{Ø mm} \end{matrix}$	2,5	3,2	4,0	5,0
6	8,1	13,1	20,1	31,8
8	6	10,0	15,2	24,0
10	4,8	7,8	12,0	19,1
12	4,1	6,6	10,1	15,9
14	3,5	5,6	8,6	13,5
16	-	5,0	7,5	11,9
18	-	4,4	6,8	10,7
20	-	3,9	6,0	9,5
25	-	3,2	4,8	7,5
30	-	-	3,9	6,5
40	-	-	3,0	4,8
50	-	-	-	3,9

domínio normal de uso

TABELA 4 - Coeficiente k para determinação de energia equivalente. (12)

Soldagem Plana e/em ângulo


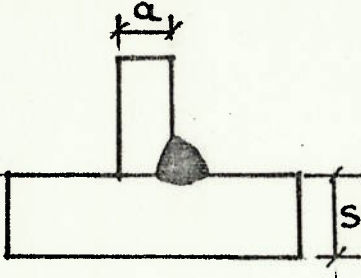
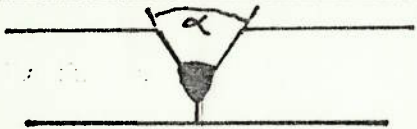
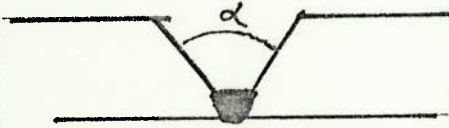
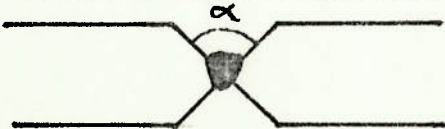
	soldagem plana k = 1					
	$\frac{a}{s}$	0	0,25	0,5	0,75	1
	k	1	0,97	0,89	0,78	0,67

TABELA 5 - Coeficiente k para determinação de energia equivalente. (12)

Soldagem com Chanfro

Forma do Chanfro	$\alpha$	30°	45°	60°	75°	90°	105°	130°
 Chanfro em Y	k	0,55	0,57	0,60	0,63	0,67	0,70	0,75
 Chanfro em V	k	1,20	1,33	1,50	1,72	2	2,38	3
 Chanfro em X	k	0,60	0,67	0,75	0,85	1	1,20	1,50

Assim, segundo a espessura da peça a ser soldada (no caso de perfil se deve considerar a espessura da alma) as condições energéticas serão assim determinadas e as regiões proibidas deverão ser evitadas.

Estes diagramas simplificados são oriundos de diagramas mais complexos que não serão examinados aqui.

#### 3.4.5.4. Caso de pré aquecimento

O pré-aquecimento não é normalmente necessário para os aços cujo limite de escoamento é igual a  $250 \text{ N/mm}^2$ . Entretanto deverá ser utilizado para os aços cujo limite de escoamento seja da ordem de  $355 \text{ N/mm}^2$  - função da energia de soldagem e da espessura a ser soldada (severidade térmica da estrutura).

O pré-aquecimento resultará de uma aplicação global ou local de calor e deverá atingir um e outro lado da junta em uma faixa de largura mais ou menos igual a 5 vezes a espessura das partes a serem soldadas. Verifica-se que a temperatura de pré-aquecimento é atingida com auxílio de lâpis térmicos ou termofusíveis, sobre a face oposta à fonte de calor.

Quando se tratar de soldagem multipasse a temperatura da junta entre passes não deverá descer abaixo da temperatura de pré-aquecimento. Por outro lado, quando uma junta é soldada em vários passes, é desejável que o trabalho não seja interrompido por muito tempo entre a execução dos passes e nunca antes do término do terceiro passe.

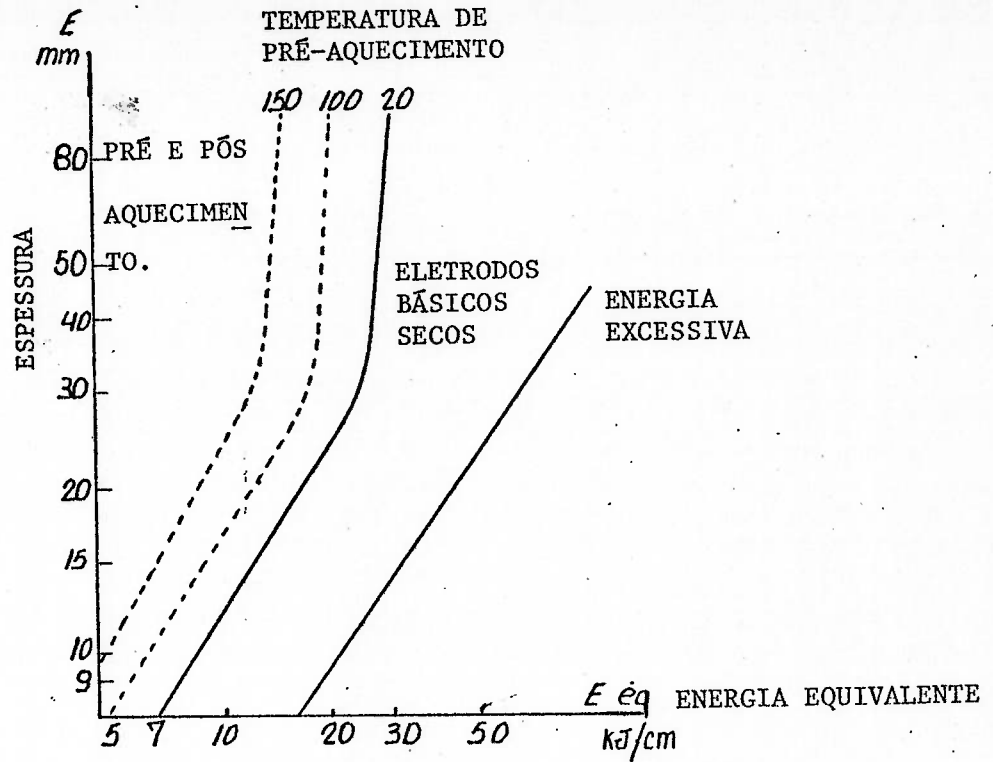


FIGURA 16 - DOMÍNIO DE SOLDABILIDADE - CONHECIDA A ENERGIA EQUIVALENTE. (12)

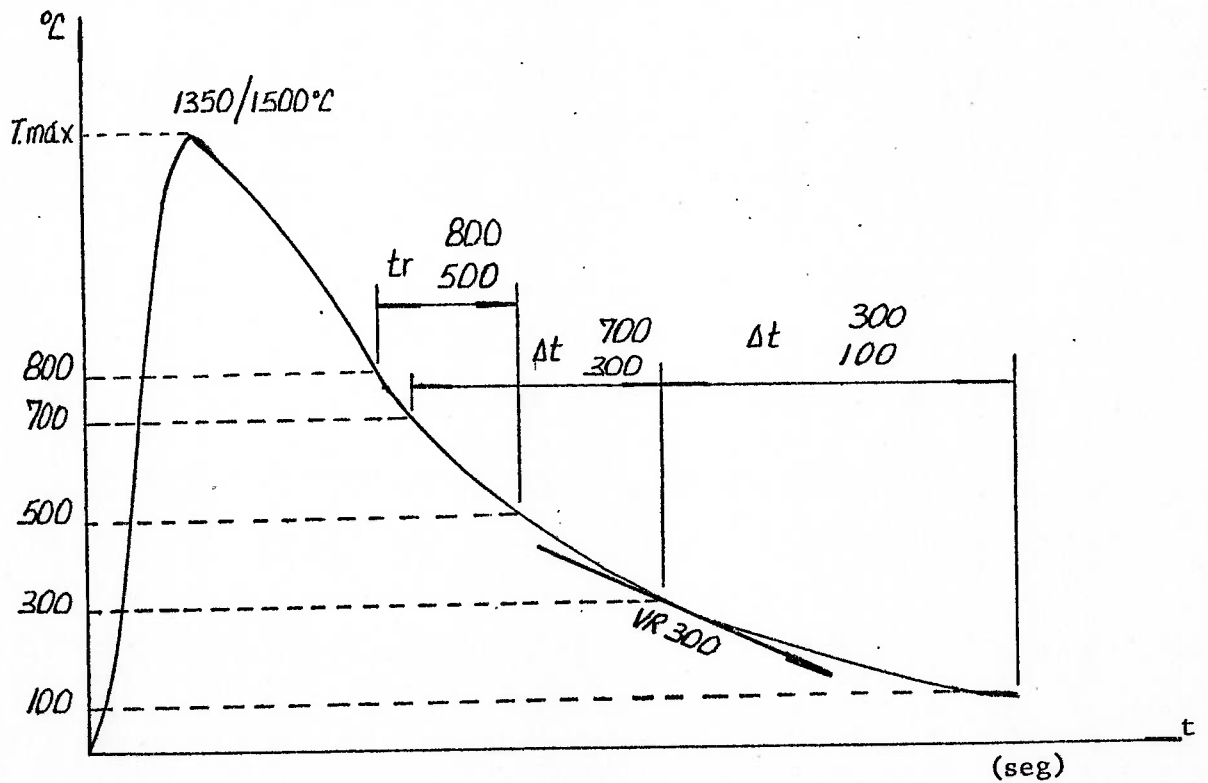


FIGURA 17 - CICLO TÉRMICO DA SOLDAGEM PRINCIPAIS PARÂMETROS DE RESFRIAMENTO. (12)



### 3.4.6. Formulação Matemática para Prevenção da Trinca a Frio:

A noção de Carbono Equivalente normalmente orienta so bre as condições de soldabilidade, deve ser considera- do com cautela. A fórmula do CE =  $C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$  é em última análise uma simples expressão ma- temática que pode induzir a erros, quando considerada isoladamente.

Nesta fórmula intervem somente a composição química do aço em questão com acentuada predominância do teor em C.

Entretanto, convem ressaltar que dentre os constituintes do aço, somente o C é caracterizador da dureza e consequentemente fragilidade, sendo que a dureza atinge valores máximos para teores de C da ordem de 0,6%.

A temperabilidade é influenciada por outros elementos de liga como o Mn, o Cr e não só pelo C. Assim o aumento de outros elementos de liga facilitam o surgimento de estrutura martensítica e favorecem a temperabilidade.

Ito e Bessio (17) verificaram que em dois aços CMn com mesmo CE, porém com teores de C diferentes, aquele de menor teor em C apresentou no ensaio Jominy inicialmente dureza mais elevada e no final o de maior teor de C com maior dureza.

Deste modo, para se efetuar uma boa análise da soldabilidade de um aço deve-se introduzir na fórmula do CE fatores referentes às tensões introduzidas e ao teor de hidrogênio retido. Daí a seguinte formulação :

$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5.B$$

$$PW = PCM + \frac{H}{60} + \frac{K}{40.10^3}$$

onde : H - teor de hidrogênio

K - grau de restrição da junta

Porém estas fórmulas não são válidas para todos os casos e sua aplicação ainda é restrita.

### 3.5. Trincas devidas ao Reaquecimento

São trincas que podem surgir durante o tratamento térmico de alívio de tensões, após a soldagem devido a uma dutibilidade local insuficiente para tolerar o próprio alívio das tensões.

Certos elementos de liga, mesmo em pequenas quantidades, podem favorecer o surgimento destas trincas na medida que carbeto podem se precipitar enfraquecendo o grão e associado as tensões existentes na estrutura levar à trincas intergranulares.

Os elementos que podem favorecer o surgimento da trinca ao reaquecimento são principalmente : vanádio, molibidênio e cromo.

Estudos realizados por Nakamura (20) e Ito (17) relacionam através das equações abaixo a suscetibilidade à trinca ao reaquecimento.

Nakamura :  $\Delta G = (\% Cr) + 3,3 (\% Mo) + 8,1 (\% V) - 2.$

Ito :  $PSR = (\% Cu) + (\% Cr) + 2. (\% Mo) + 10. (\% V) + 7. (\% Nb) + 5. (\% Ti) - 2.$

Para as duas equações quando  $\Delta G$  e PSR são positivos ou nulos o material é susceptível à trinca ao reaquecimento.

#### 4. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE UM PROBLEMA DE SOLDABILIDADE

##### 4.1. Princípios Básicos

A resolução de um problema de soldabilidade consiste em :

- assegurar que os metais de base e os conjuntos soldados tenham as propriedades mecânicas mínimas para seu uso (estabilidade mecânica);
- assegurar que as juntas e as construções soldadas não terão pelo fato de sua presença, comportamento anormais de modo a colocar a construção fora das condições de preencher corretamente as funções às quais ela foi destinada e para a durabilidade que lhe foi solicitada (estabilidade funcional);
- assegurar que a legislação em vigor é respeitada para o local e a função desejada (atendimento às leis nacionais ou internacionais).

##### 4.2. Solução

Objetivar-se-á principalmente a assegurar tanto para o metal base quanto para as zonas soldadas que os diversos pontos a seguir sejam satisfeitos no estado bruto de soldagem ou após tratamento térmico eventual, quando for necessário :

- Os materiais utilizados terão qualidades de utilização a um nível suficiente e suas seções, formas, propriedades e comportamentos corresponderão às diversas solicitações aos quais eles serão submetidos.

Todas estas disposições construtivas deverão garantir a estabilidade mecânica e dimensional e a perenidade da construção. (Riscos de ruína por ruptura, deformações, fadiga, decoesão lamelar).

- As características mecânicas das zonas soldadas estarão corretas.  
(Riscos complementares devido às propriedades dos cordões de solda ou à sua posição particular na construção).
- As tenacidades do metal de base serão superiores às mínimas.  
(Risco de ruptura frágil, que também pode ser apreciado por outros ensaios).
- Haverá ausência total de trincas a quente e a frio. (Riscos - de propagação por ruptura frágil, por fadiga, por corrosão - ou combinadas).
- Haverá uma análise química e uma estrutura micrográfica compatível com os eventuais ambientes corrosivos.  
(Risco de ruína por corrosão).
- Haverá cuidado no projeto de construção quanto a geometria .  
(Riscos de ruptura por fadiga, de ruptura brutal ou por concentrações de tensões).
- Haverá uma execução segundo uma sequência local e global de montagem, de modo a minimizar as deformações e as tensões residuais ou pelo menos estar dentro da melhor solução de compromissos.  
(Riscos devidos à má geometria de transmissão de esforços e a um grande acúmulo de energia elástica na construção).
- Será considerada toda outra característica imposta pelo tipo de construção, de solicitações ou legal.  
(Riscos particulares).



#### 4.3. Importância da Microestrutura das Zonas Soldadas

Um grande número das propriedades ou comportamentos citados anteriormente dependem da microestrutura das zonas soldadas.

Em função disto é de interesse o conhecimento das condições de formação desta microestrutura, ou seja do estado inicial dos materiais (análise e estrutura) e das condições térmicas de soldagem que a modificam.

O conhecimento preciso dos ciclos térmicos de soldagem e de suas características é necessário. Para tanto, o IRSID (Institut de Recherche de la Siderurgie Française) efetuou estudos que tornaram possível o conhecimento da influência dos ciclos térmicos de soldagem.

Tal situação determinou um parâmetro de resfriamento das soldas em função do ciclo térmico de soldagem que permite caracterizar a evolução das microestruturas das zonas termicamente afetadas e, através das consequências, as propriedades ou os comportamentos associados à estas microestruturas.

##### 4.3.1. Características dos Ciclos Térmicos de Soldagem

Os ciclos térmicos de soldagem (20) e (21), conforme figura 17 são representados sob a forma de uma subida de temperatura extremamente rápida, não há nenhum período de permanência ou patamar e o resfriamento se efetua de acordo com as leis físicas de transmissão de calor.

Caracteriza-se estes ciclos através de diversos parâmetros tais como  $tr\ 800/500$ ,  $\Delta T\ 700/300$ ,  $\Delta T\ 300/100$ , etc. O parâmetro  $tr\ 800/500$  é utilizado pelo Institut de Soudure da França e pelo Instituto Internacional de



Soldagem. Já o IRSID prefere utilizar o  $\Delta T$  700/300.

Através de um destes parâmetros pode-se determinar a microestrutura, e existem gráficos nas duas escolas - apesar de ser extremamente fácil passar de um para outro parâmetro.

Já os Laboratórios da Cresot Loire e o Instituto de Soldagem Japonês utilizam VR 300 e  $\Delta T$  300/100 respectivamente. Estes dois parâmetros de resfriamento tomam em consideração o aspecto das condições de desidrogenação das juntas soldadas, ou seja o comportamento da junta soldada quanto à trinca a frio.

Estes parâmetros estão correlacionados com as seguintes condições operatórias de soldagem :

- Energia de Soldagem (KJ/cm).
- O rendimento térmico dos processos de soldagem ( $\eta$ )
- A temperatura de pré-aquecimento ( $T_p$ ).
- A espessura a ser soldada ou a espessura equivalente "e" que considera simultaneamente a configuração geométrica da junta e as preparações (também denominada de severidade térmica do conjunto soldado).

Note-se que na maioria dos casos os dois seguintes parâmetros são considerados constantes :

- A condutibilidade térmica do metal de base, salvo para os metais não ferríticos.
- A condutibilidade térmica do ambiente, salvo soldagem em um fluido diferente do ar e na pressão normal (ex.: soldagem subaquática em grande profundidade).

Quando se estuda a evolução dos ciclos térmicos de soldagem em função das condições operatórias de soldagem imediatamente se depara com a noção de "espessura limite", quer dizer a espessura acima da qual o ciclo térmico não é modificado, passando então a depender de energia de soldagem e de eventual temperatura de pré-aquecimento.

Este modo de resfriamento que independe da espessura é dito tridimensional. Há dois outros modos de resfriamento o bidimensional e o intermediário que dependem da espessura a ser soldada conforme figura 18.

O estudo da influência das diferentes condições operatórias de soldagem sobre os parâmetros de resfriamento  $tr$  800/500 e  $\Delta T$  700/300 foi feito pelo IRSID que elaborou um ábaco que permite descobrir as condições desejadas conforme figuras 19 e 20.

Estes ábacos gerais são resultados da fusão dos diagramas elementares que se pode estabelecer para cada caso particular, quer dizer : processo de soldagem, preparação da junta, pré-aquecimento, etc.

Utiliza-se então um par de coordenadas reduzidas  $\left[ \frac{tr}{E} (T-T_p)^2 \right]$  e  $\left[ \frac{e^2}{E} (T-T_p) \right]$ , conforme figura 21,

onde :  $tr$  = parâmetro de resfriamento  
 $E$  = energia de soldagem  
 $T$  = temperatura média do parâmetro de resfriamento, ou seja, 650°C para  $tr$  800/500 e 550°C para  $\Delta T$  700/300.  
 $T_p$  = temperatura de pré-aquecimento.

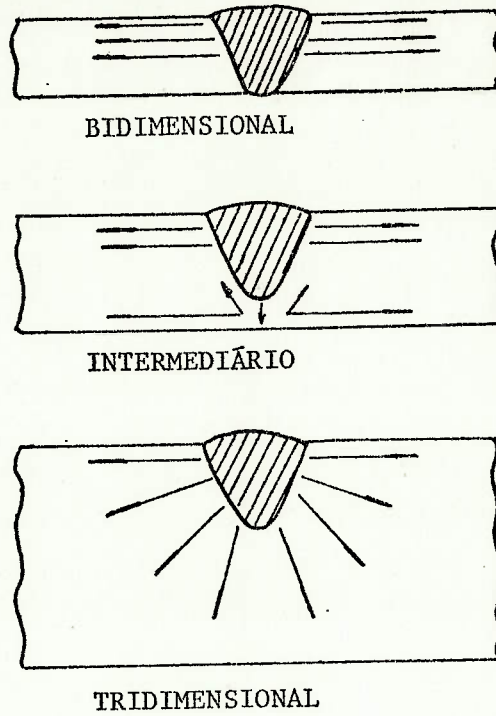


FIGURA 18 - MODOS DE RESFRIAMENTO. (12)

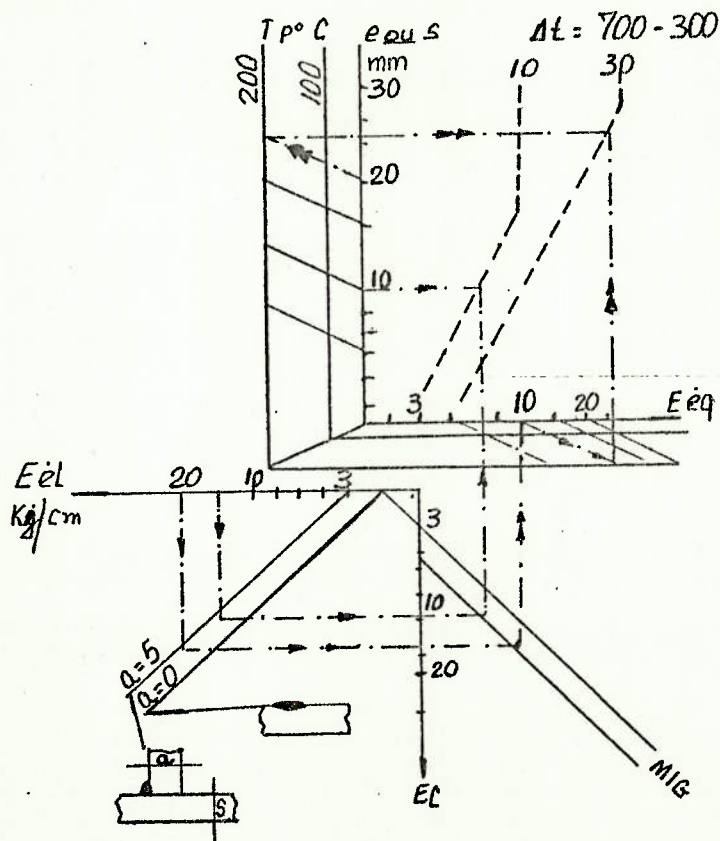


FIGURA 19 - DIAGRAMA GERAL SOBRE CONDIÇÕES DE SOLDAGEM  $\Delta t$  700-300. (12)

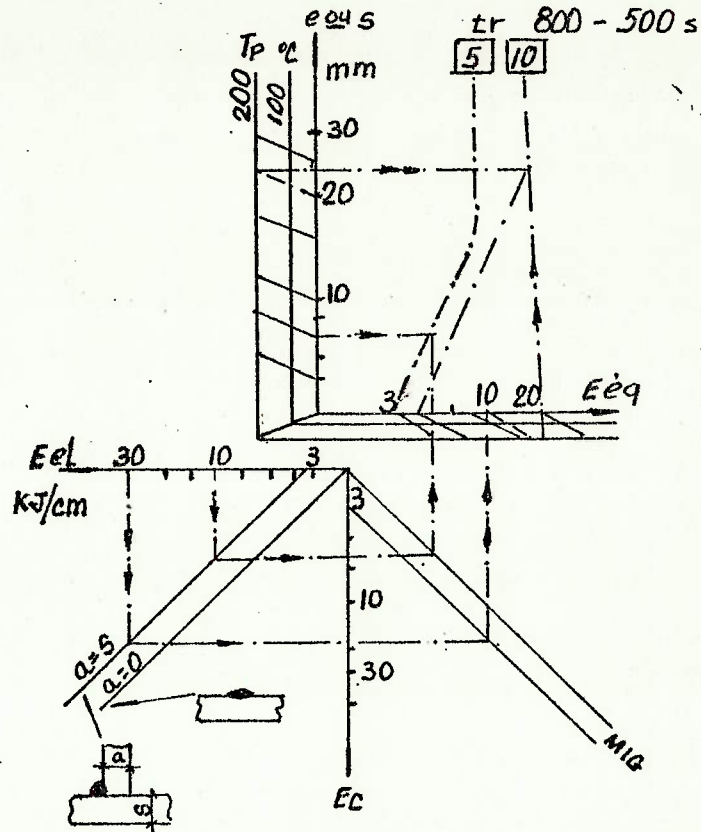


FIGURA 20 - DIAGRAMA GERAL EM CONDIÇÕES DE SOLDAGEM -  $tr = 800/500s$  (12)

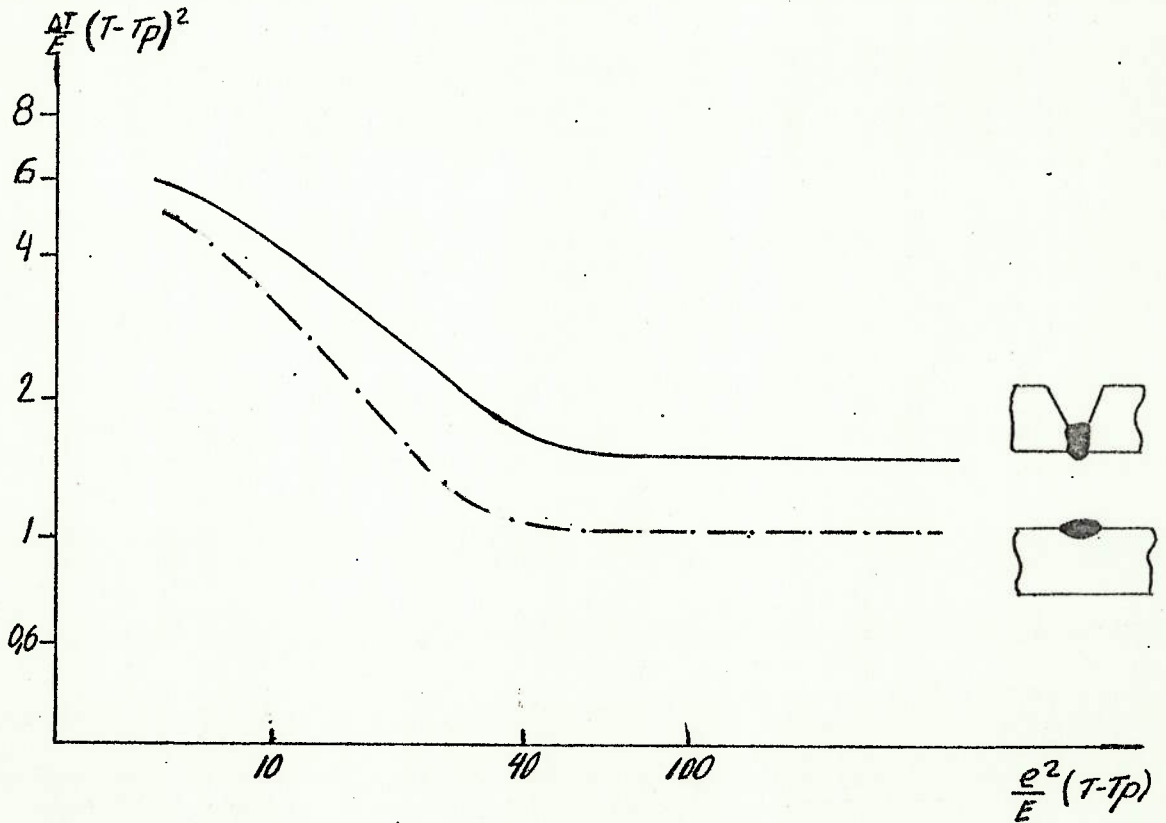


FIGURA 21 - DIAGRAMA PARTICULAR DAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM EM COORDENADAS REDUZIDAS. (12)

#### 4.4. Noções de Metalurgia de Soldagem dos Aços

##### 4.4.1. Generalidades

Do modo como já se verificou, o risco de trinca a frio é constantemente analisado quando da procura da segurança das construções soldadas. Este risco está essencialmente ligado aos seguintes fatores :

- Existência de tensões que surgem no momento da soldagem.
- Presença simultânea de hidrogênio na ZTA e de constituintes estruturais susceptíveis de serem fragilizadas pelo hidrogênio.

Sabe-se que as transformações estruturais se produzem na ZTA deverão ser consideradas quando se escolher as condições de soldagem. Para isto é necessário conhecer as condições nas quais estas estruturas aparecem.

##### 4.4.2. Influência da Operação de Soldagem sobre a Microestrutura dos aços na ZTA

Durante a operação de soldagem uma grande quantidade de calor é levada localmente à peça soldada. Este calor localizado gera :

- Um aquecimento muito rápido até uma temperatura compreendida entre a temperatura inicial do metal até a temperatura de fusão . .
- Um resfriamento que é imediato ao aquecimento e cuja cinética depende essencialmente como já foi visto do conjunto das condições operatórias (e notadamente dos parâmetros de soldagem da geometria da junta, do processo de soldagem e de seu rendimento térmico).



Tal ciclo térmico provoca transformações estruturais que dependem da temperatura máxima atingida e das condições de resfriamento do metal no ponto considerado.

Na figura 22 está reproduzido um exemplo das modificações estruturais que se produziram nas vizinhanças de uma junta soldada pelo processo arco submerso em aço tipo C/Mn com limite de resistência de 355 N/mm<sup>2</sup>.

Assim na figura distinguem-se:

- região do metal base onde a temperatura máxima atingida permanece inferior à 600°C e na qual o exame micrográfico não detecta modificação estrutural visível;
- uma zona onde a temperatura máxima está compreendida entre AC1 e AC3. A ultrapassagem do ponto AC1 conduz à modificações estruturais importantes penetrando-se assim na parte visível de ZTA, pode-se notar que a austenitização parcial do metal conduz à uma estrutura de granulação fina.
- uma zona (não apresentada na figura 22) onde a temperatura máxima atingida está entre AC3 e 1200°C e se observaram estrutura semelhante às estruturas de normalização e estruturas mais grosseiras que se sucedem.
- a zona adjacente ao cordão de soldagem onde a temperatura máxima atinge temperaturas muito elevadas (superiores à 1200°C), nesta região o crescimento de grão é muito grande conferindo à estrutura austenítica uma forte temperabilidade que conduz,

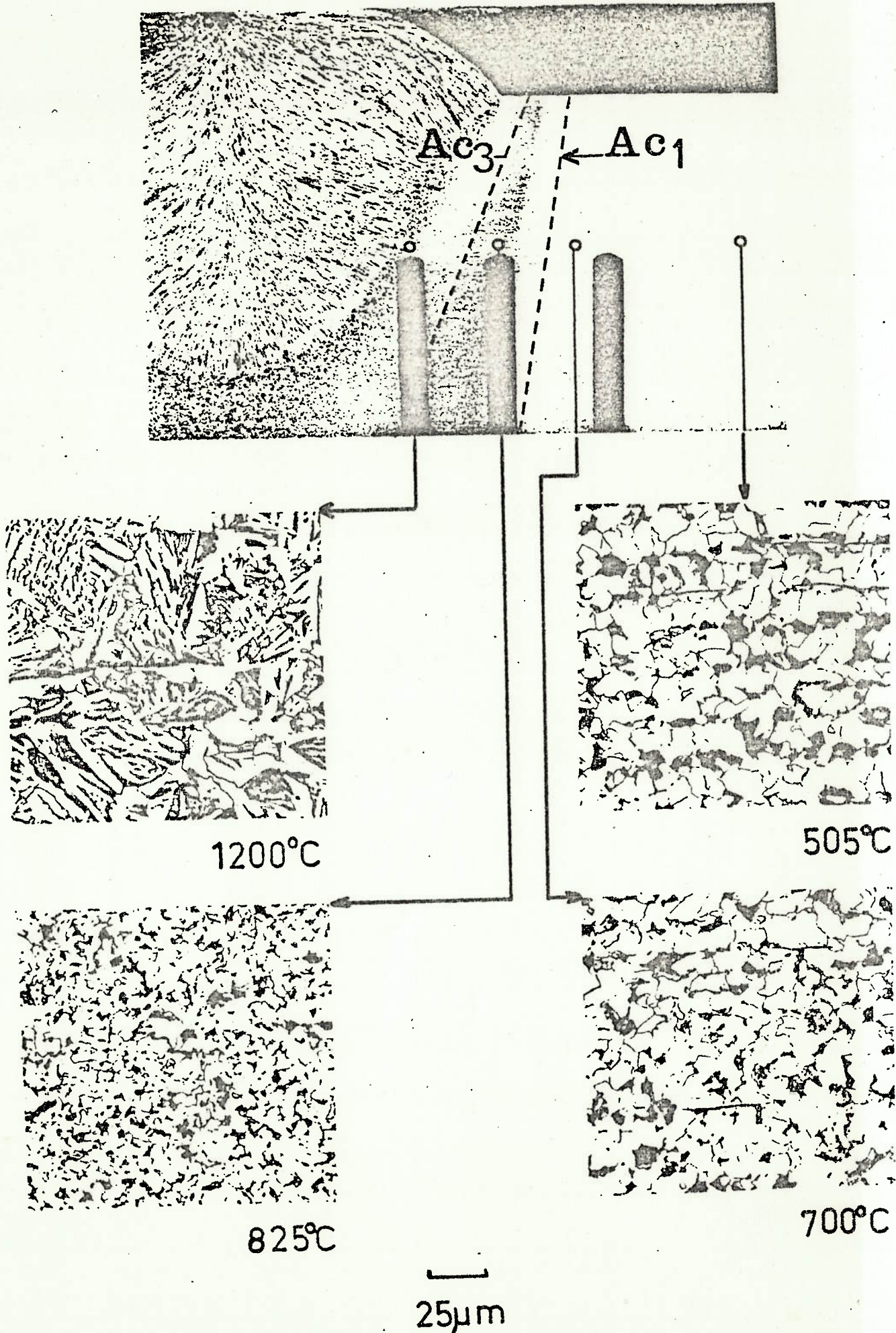


FIGURA 22 - EXEMPLOS DE MODIFICAÇÃO ESTRUTURAL NAS VIZINHANÇAS DE UMA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO DE UM AÇO  $C_{Mn}$  NORMALIZADO. (12)

após o resfriamento, a estruturas aciculares muito grosseiras idênticas às estruturas de tempera para resfriamentos extremamente rápidos.

Esta última região que se convencionou chamar zona de grãos grandes ou zona de granulação grosseira é a fonte da maioria dos problemas de soldagem dos aços. É aí, com efeito, que há o risco de surgir e de progredir as trincas a frio e é igualmente nesta região que as propriedades mecânicas do metal (notadamente no que diz respeito a resistência à ruptura frágil) es tão mais modificadas. Logo é nesta região que se de ve fixar as atenções para compreender as dificuldades encontradas durante a soldagem e definir os meios que permitam evitá-las.

#### 4.4.3. Microestruturas - Propriedades - Comportamentos

Ao preparar-se um procedimento de soldagem deve-se - atentar particularmente aos fenômenos ou modificações que fatalmente ocorrem na ZTA. Para tanto, deseja-se conhecer :

- a) a estrutura micrográfica que é informada pelo dia grama TRC - "Transformação em Resfriamento Contínuo";
- b) um meio rápido de apreciar a estrutura micrográfica formada que é obtida através da curva de dureza sob cordão;
- c) as condições de soldagem adotadas para a construção de modo a evitar o risco de trinca a frio, e isto é conseguido através das curvas de trincas - sobre implantes;



- d) as modificações estruturais da ZTA, de modo verificar se não há problema de alterar localmente as possibilidades do material de resistir à ruptura frágil, e a curva de tenacidade, em função do parâmetro de resfriamento informa sobre estes riscos.

#### 4.5. O Diagrama TRC em Condições de Soldagem

O diagrama TRC é traçado para condições de austenitização próprios da soldagem (em geral 1300°C sem patamar) e está apresentado nas coordenadas  $\Theta = f(\Delta T 700/300)$  ou  $\Theta = f(\text{tr } 800/500)$  conforme figura 23.

Este diagrama TRC em condições de soldagem permite para um aço correlacionar a microestrutura formada, parâmetro essencial da metalurgia de soldagem, ao ciclo térmico que a ZTA foi submetida (20) (21) e (23).

O traçado de tal diagrama é delicado e exige equipamento e trabalhos/técnicas reservadas aos laboratórios. Assim pode ser estabelecido por simulação sobre máquinas especiais dispondo de possantes meios de aquecimento e de resfriamento capazes de reproduzirem um ciclo real de soldagem anteriormente gravado - ou ser obtido diretamente de análise térmica da ZTA sendo então chamado de "in situ".

As condições particulares de austenitização anteriormente citadas são aquelas que se encontram no metal de base da vizinhança imediata da linha de fusão. É a região de crescimento máximo de grão, de máximas durezas e no caso crítico, a sede das trincas a frio.

O diagrama "TRC-in situ" então em sua obtenção e sua apresentação bem diferente do diagrama TRC clássico de tratamento térmico.

C	Mn	Si	S	P	Al	Nb	V	Cu	Cr	Ni
170	1507	324	1	14	37	29	132	68	90	594

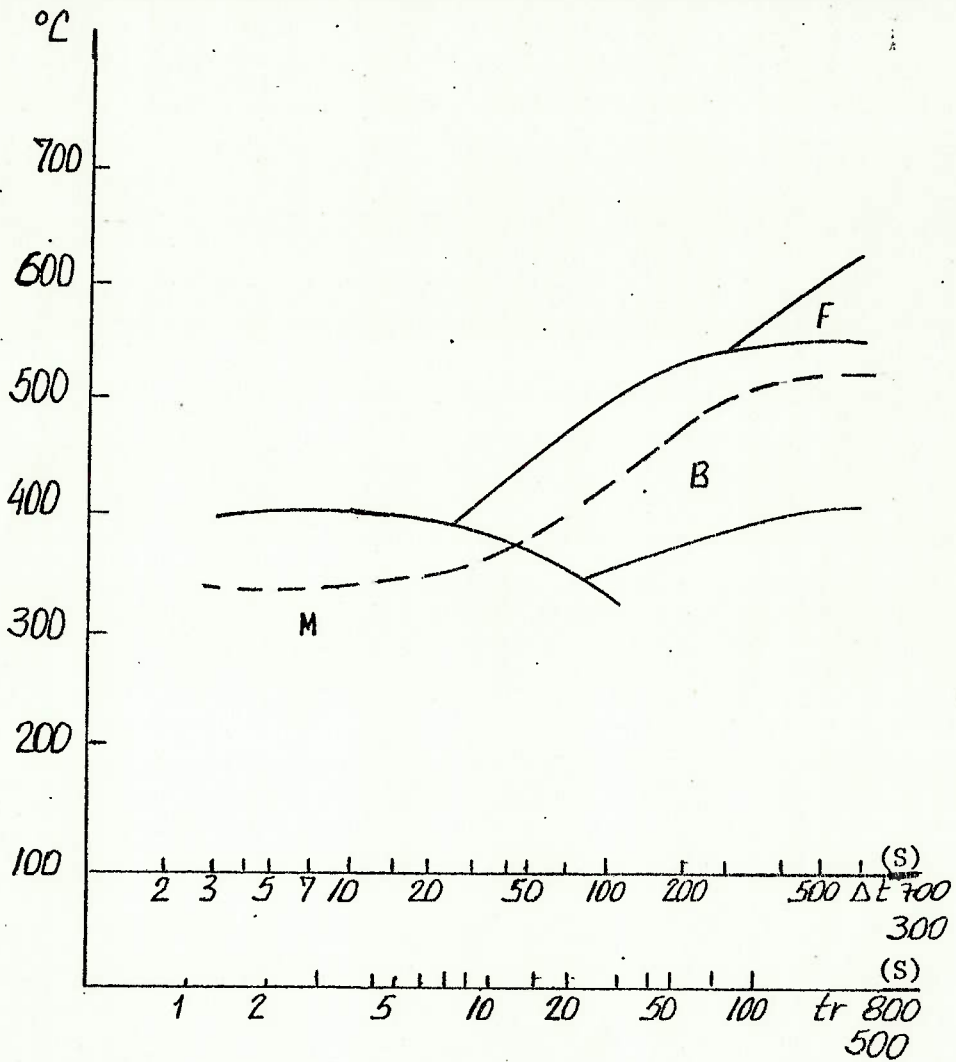


FIGURA 23 - DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO EM RESFRIAMENTO CONTÍNUO (TRC) EM CONDIÇÕES DE SOLDAGEM. (12)



Esta apresentação dos domínios estruturais em coordenadas  $\Delta T$  é particularmente comoda para os problemas de soldagem, pois um ciclo térmico de soldagem é representado por uma vertical. A curva de dureza sob cordão que é mais facilmente (acessível) e diretamente utilizável na prática industrial é normalmente associada ao diagrama TRC.

#### 4.6. Curva de Dureza sob Cordão

Esta curva dá a dureza em função do parâmetro de resfriamento. Esta dureza é medida em HV5 (penetração piramidal Vickers sob uma carga de 49,2 Newtons) e procura atingir a zona de grandes grãos vizinha à linha de fusão.

Esta curva indicada na figura 24 mostra através das respectivas micrografias a evolução das estruturas em função do parâmetro de resfriamento.

O conhecimento desta curva é importante, pois uma alta dureza detectada sob cordão é normalmente identificadora de risco de trinca a frio.

#### 4.7. Conclusões sobre as Microestruturas - Propriedades e Comportamento

O mesmo critério  $\Delta T$  pode caracterizar de um lado as propriedades e comportamentos das microestruturas e de outro lado os ciclos térmicos de soldagem.

É possível, como foi mostrado, superpor todos estes diagramas e estudar a modificação de seu traçado sob a influência dos diversos parâmetros e sua utilização na soldagem.

A finalidade destes estudos é sempre a otimização de uma construção soldada em aço.

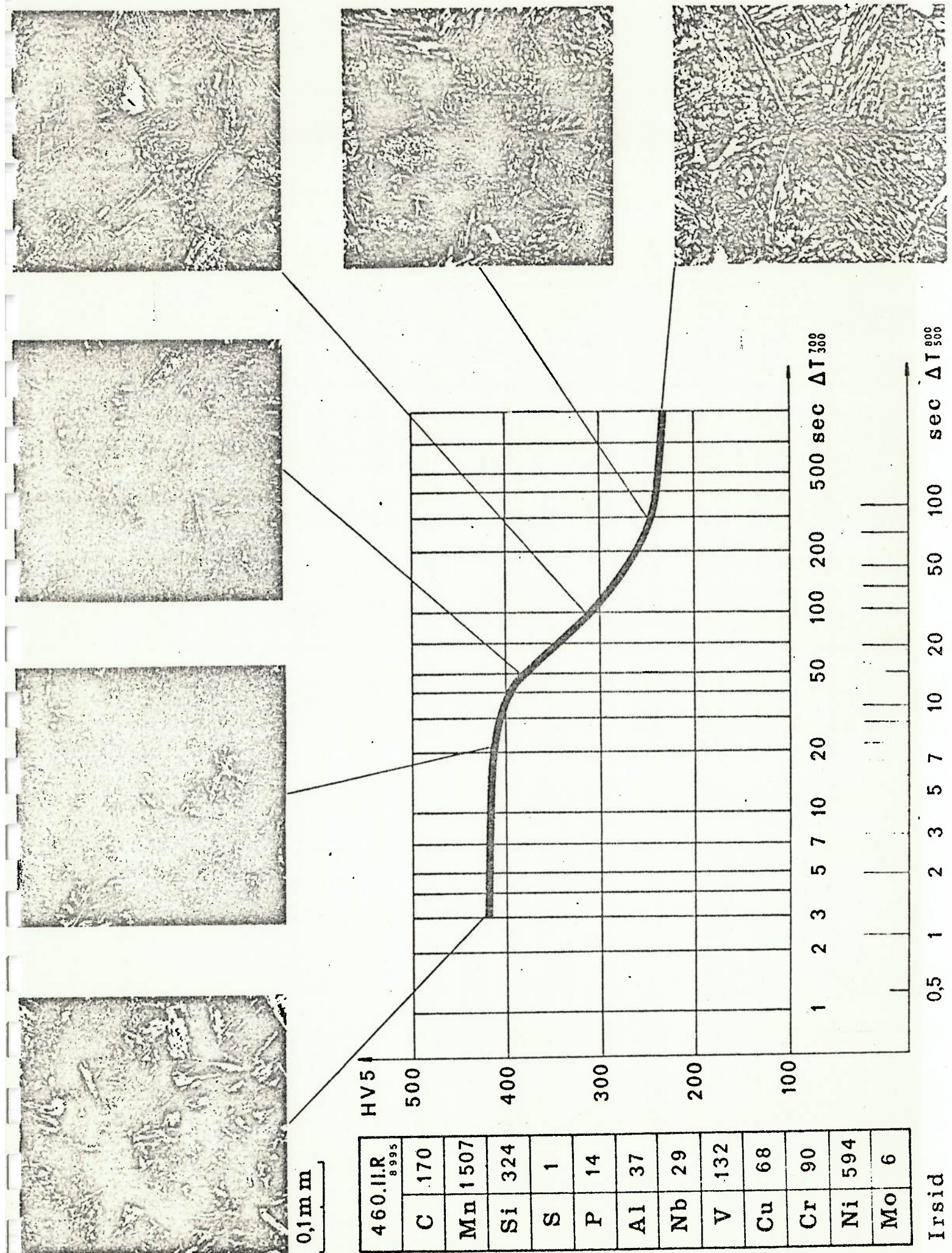


FIGURA 24.-CURVA DUREZA X PARÂMETRO DE RESFRIAMENTO (DUREZA SOB CORDÃO). (12)



#### 4.8. Parâmetros que modificam o traçado dos diversos diagramas

##### 4.8.1. Generalidades

Aço para estrutura soldada é definido geralmente por propriedades e características de utilização, a saber :

- espessura;
- limite de resistência
- a carga de ruptura;
- a estrição no sentido da espessura;
- o alongamento à ruptura;
- tenacidade em presença de entalhe.

Estas características finais são obtidas por diversos meios :

- análise química (nos limites admissíveis);
- os tratamentos termomecânicos (laminação controlada);
- os tratamentos térmicos antes da soldagem (normalização, revenido, tempera e revenido, resfriamento acelerado no calor da laminação);
- os tratamentos térmicos após soldagem (ausência de tratamento revenido, relaxação, tratamento térmico intercrítico, normalização, etc.;

Os tratamentos termomecânicos de laminação, o resfriamento acelerado no calor da laminação ou a tempera e o revenido das chapas têm em primeiro lugar um efeito de conferir ao aço características mecânicas mais elevadas àquelas obtidas por normalização.

Pode-se em segundo lugar obter características mecânicas iguais àquelas obtidas após normalização, mas que - partiram de uma análise química menos elevada.

Estas considerações sobre os modos de transformação dos aços mostram que existe uma certa dissociação entre a análise química e as propriedades mecânicas usuais dos aços.

Como os diagramas apresentados são sobretudo governados pela análise química, pode-se limitar ao estudo deste efeito sobre o traçado dos diagramas.

É em se associando as características mecânicas às análises que se julgará o interesse de um ou outro modo de obtenção das características de uso.

O efeito da soldagem e dos tratamentos térmicos de pós soldagem sobre o carácter mais ou menos metaestável de certas propriedades também será examinado.

#### 4.8.2. Análise Química do Aço

Todos os elementos caracterizando a análise química têm indiretamente um efeito mais ou menos desfavorável sobre um ou outro aspecto da soldabilidade do aço, mas como eles são necessários para a obtenção de certas características o essencial será escolher aquele ou aqueles que têm o efeito mais importante sobre a ou as propriedades pesquisadas sempre procurando minimizar sobre o plano global os eventuais efeitos nefastos sobre a soldabilidade.

Geralmente o problema se restringe à substituição do carbono por outro elemento, daí a grande multiplicidade das fórmulas de Carbono Equivalente.

Construir uma análise química significa procurar o melhor compromisso entre os múltiplos "Carbono Equivalente" que caracterizam cada propriedade, considerando os limites impostos pelos códigos ou regulamentos, as incompatibilidades ou impossibilidades tecnológicas, o preço e as possibilidades de provisão do momento.

Tudo isto é função dos meios de elaboração e de transformação do material base.

É isto que explica a diversidade de soluções propostas para satisfazer as propriedades de uso.

#### 4.8.3. Influência da Análise Química

##### 4.8.3.1. Influência da Análise Química sobre o Diagrama TRC

Um aumento dos elementos de análise química tem geralmente como efeito aumentar a temperabilidade do aço, quer dizer levar para a direita os diversos domínios estruturais.

Um efeito semelhante de aumento da temperabilidade é observado na ZTA à medida que se aproxima da linha de fusão (aumento da temperatura de austenitização) - figura 25.

##### 4.8.3.2. Influência da Análise Química sobre a Curva de Dureza sob Cordão

O carbono é praticamente o único elemento que age sobre a dureza máxima, quer dizer a dureza martensítica, figura 26.



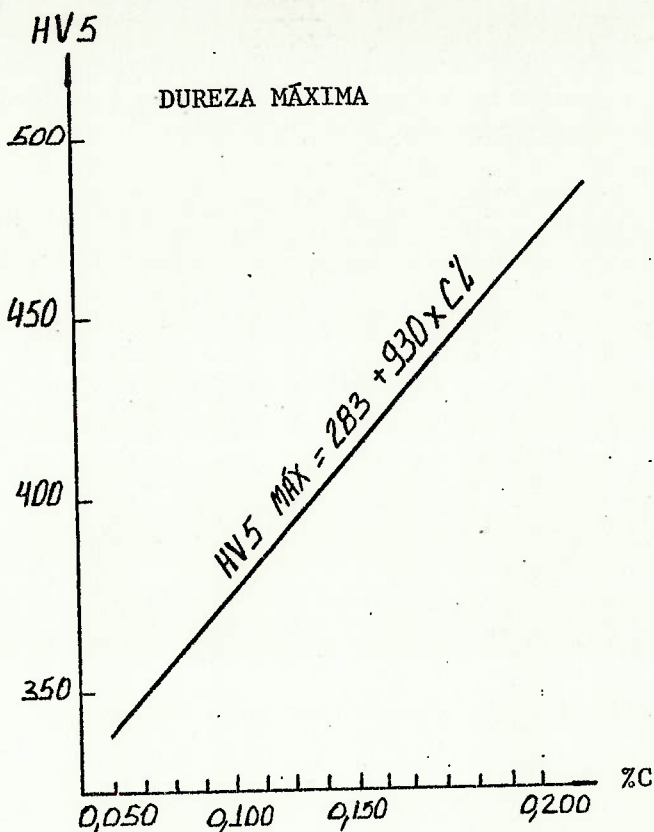


FIGURA 26 - EFEITO DO CARBONO SOBRE A DUREZA MARTENSÍTICA. (12)

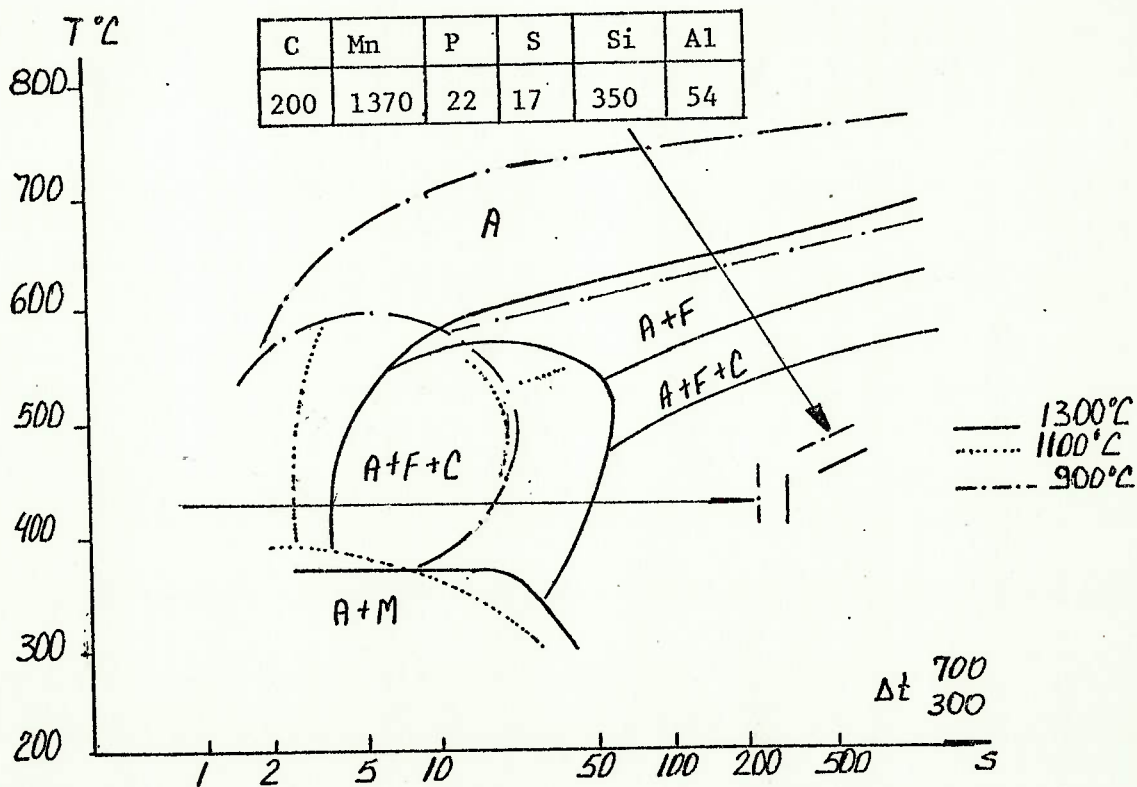


FIGURA 25 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE AUSTENITIZAÇÃO SOBRE O DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO EM RESFRIAMENTO CONTÍNUO TRC. (12)

O carbono age igualmente com outros elementos sobre a temperabilidade do aço e modifica o traçado da curva deslocando-a para a direita (C-Mn), enquanto que o Nb e o V reduzem a inclinação da curva conforme figura 27.

Os dispersóides agem principalmente na parte inferior da curva, quer dizer é interessante considerar  $\Delta T$  longos para a solução dos problemas de trinca a frio, pois este risco é essencialmente observado para todos os  $\Delta T$  curtos, quer dizer no início da curva de dureza que fica praticamente imutável pela adição de dispersóides.

Esta observação é tão importante que geralmente se associa à adição de um dispersóide - uma diminuição do teor em carbono.

Estas modificações do traçado sob o efeito da análise mostram que para as mesmas características mecânicas, é possível de ter aços cuja curva de dureza sob cordão se situa entre - duas curvas extremas, figura 28, segundo principalmente o teor em carbono.

Nestas condições se fixa um nível de dureza - máxima convencional, relativamente baixo para se prevenir contra o risco de trinca a frio, constatar-se-á que o aço a baixo carbono poderá exigir  $\Delta T$  de soldagem maiores que o aço dito "ao carbono" com as mesmas características mecânicas.

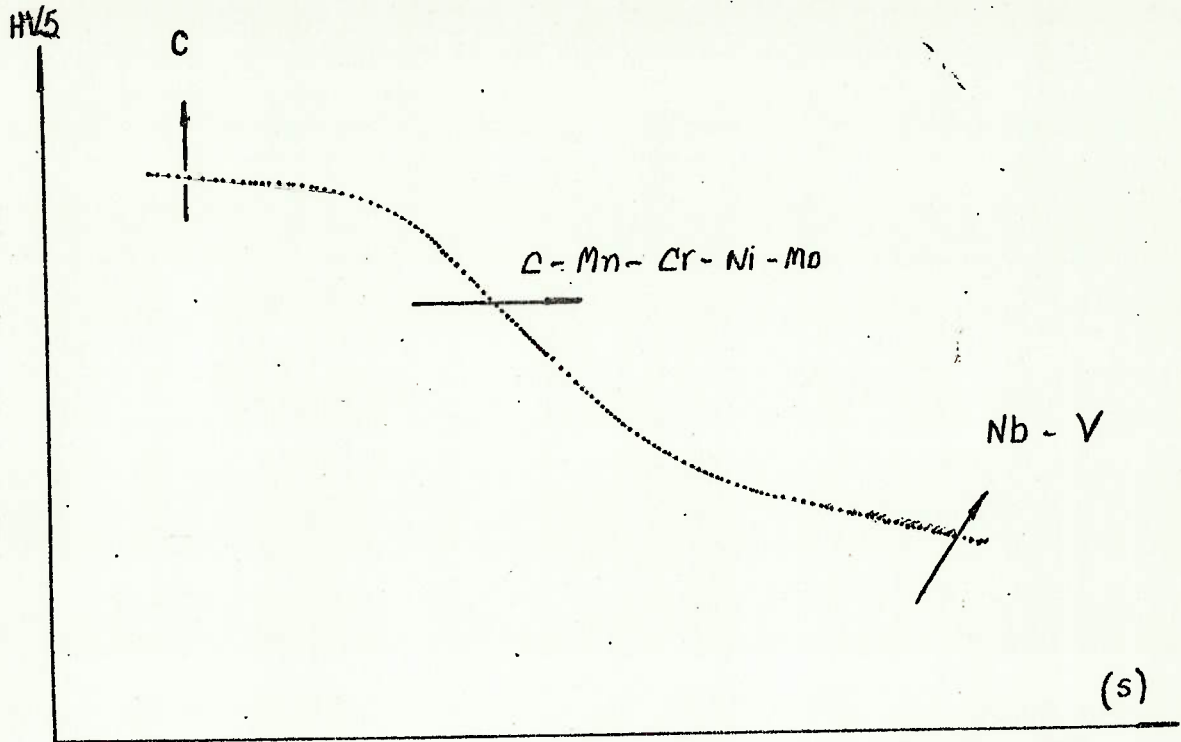


FIGURA 27 - INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS SOBRE A CURVA DE DUREZA SOB CORDÃO/PARÂMETRO DE RESFRIAMENTO. (12)

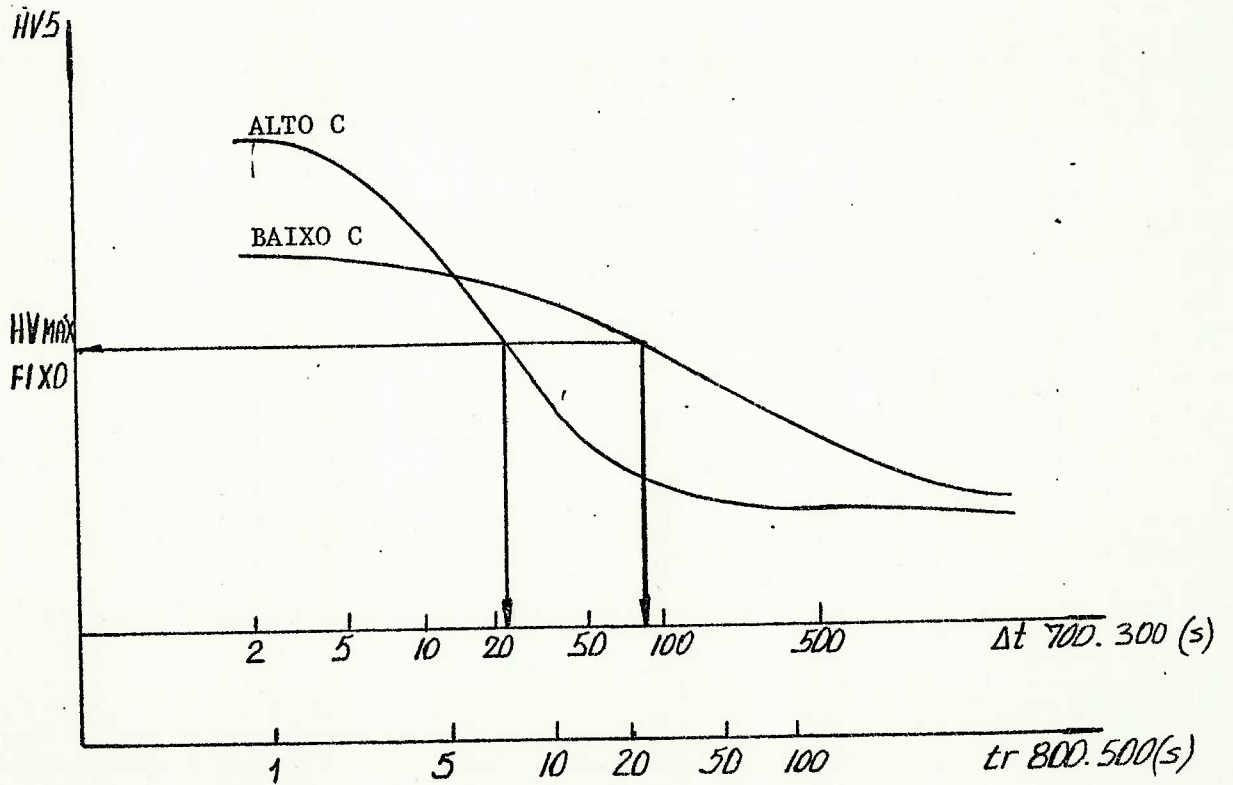


FIGURA 28 - LIMITE DE DUREZA DE UM TIPO DE AÇO. (12)

No limite, estes aços que são os únicos que podem manter altos valores de resistência - na ZTA, são penalizados por operações de pré-aquecimento onerosas e sem valor metalúrgico.

Esta ausência de modulação na fixação de um limite da dureza convencional sob cordão independentemente da análise química do aço poderá conduzir ao desaparecimento total do domínio de soldabilidade do aço, quer dizer que o aço poderá vir a se tornar não soldável por convenção.

No diagrama TRC o deslocamento da temperabilidade em função da temperatura de austenitização aparece igualmente na curva de dureza sob cordão conforme figura 29.

#### 4.8.3.3. Influência da Análise Química sobre a Tensidade na ZTA

A forma da curva  $KV = f(\Delta T)$ , conforme figura 30 se modifica no mesmo sentido que aquelas de dureza sob cordão. Elas são deslocadas no sentido da direita para elementos como C, Mn, Cr, Mo, Ni.

Os elementos dispersóides não permitem sentir seu efeito a não ser para  $\Delta T$  elevados fora das possibilidades atuais dos processos clássicos de soldagem, conforme figura 31.

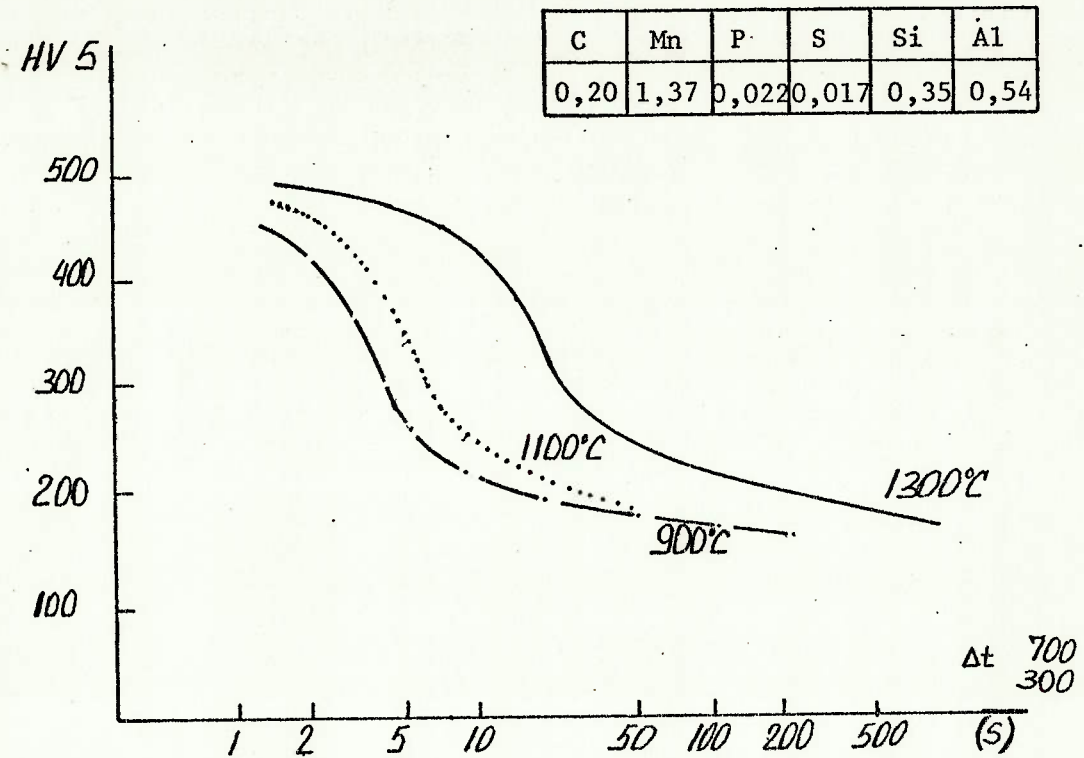


FIGURA 29 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE AUSTENITIZAÇÃO SOBRE A CURVA DUREZA/PARÂMETRO DE RESFRIAMENTO. (12)

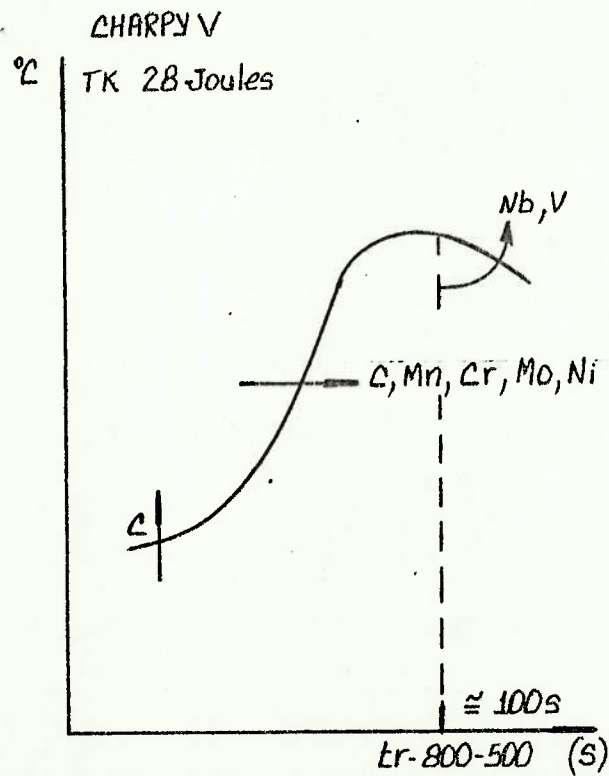


FIGURA 30 - INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DE LIGA SOBRE A CURVA (12)



Estes  $\Delta T$  longos não são atingidos a não ser por procedimento de soldagem vertical sob escória, tipo eletroescória.

O carbono faz igualmente aumentar a temperatura mínima, e com os elementos agindo sobre a temperabilidade que deita para a direita na parte ascendente da curva, figura 32.

As curvas  $KV = f(\Delta T)$  permitem ao mesmo tempo definir um domínio de soldabilidade e uma amplitude da degradação das propriedades da ZTA.

Parece então que para mesmas características mecânicas os aços produzidos por laminação controlada ou temperados e revenidos têm domínios de soldabilidade maiores devido ao facto de que sua análise química é mais baixa e menor e o seu teor em carbono em geral é mais baixo do que aqueles dos aços normalizados de mesmas características mecânicas.

No que diz respeito à degradação da ZTA é preciso considerar que a laminação controlada confere ao metal base um grão mais fino que aquele normalizado e conseqüentemente melhores valores de tenacidade (TK 28J).

Entretanto após austenitização à 1300°C próximo à linha de fusão não há mais continuidade de estrutura e o valor final da tenacidade depende somente da análise química e do  $\Delta T$ .

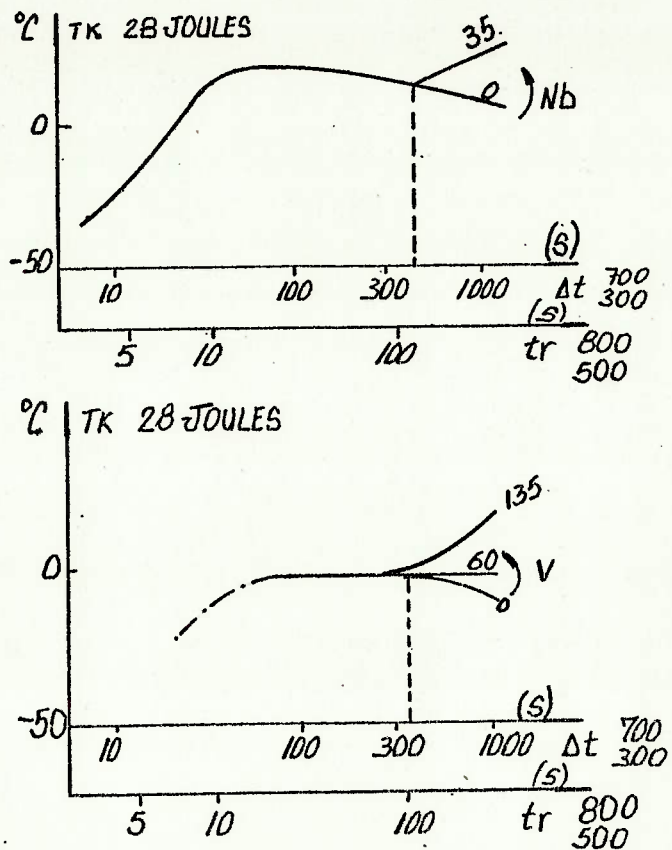


FIGURA 31-INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DISPERSÓIDES SOBRE A TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO DE ZTA SIMULADA. (12)

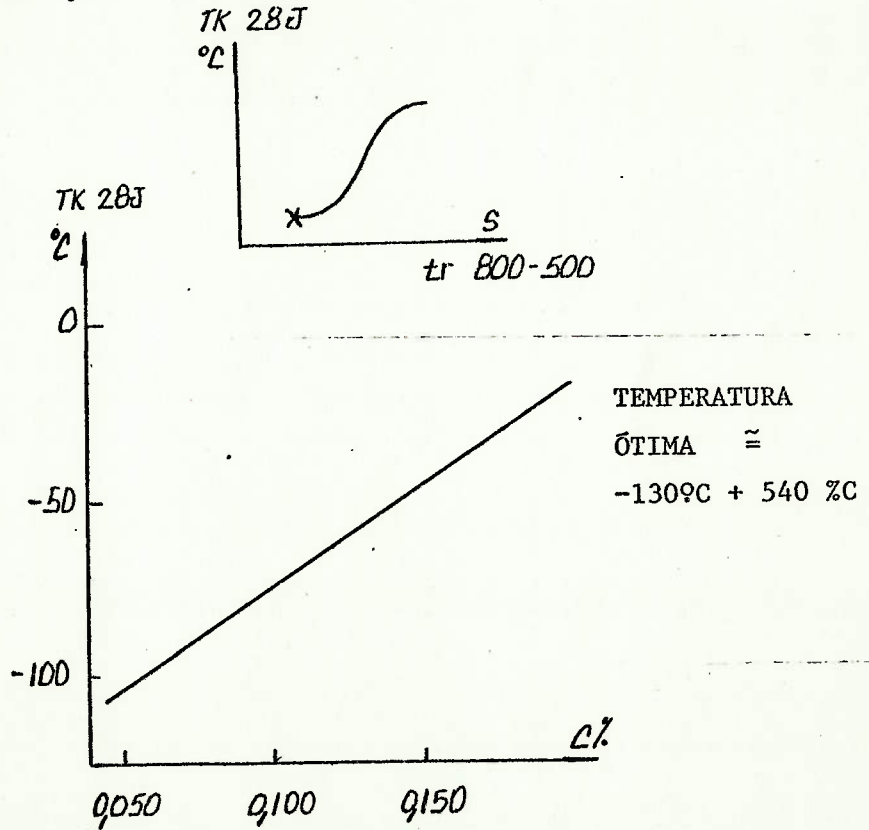


FIGURA 32 - INFLUÊNCIA DO CARBONO NA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO TK28J NA ZTA. (12)

O aço de laminação controlada tem então uma degradação aparente maior que aquela do aço normalizado.

Para temperaturas de austenitização mais baixas subsiste uma certa hereditariedade estrutural, quer dizer que a largura degradada de ZTA, se encontra reduzida para este aço.

Deve-se então estar particularmente atento em matéria de se passar a fazer a diferença entre as tenacidades garantidas e as tenacidades reais que são notadamente mais elevadas (consequência indireta da laminação controlada).

Para características mecânicas idênticas àquelas de um aço normalizado, a análise química de um aço com laminação controlada é globalmente menor e seu teor de carbono menor.

É também com uma análise química de um aço normalizado com limite de resistência de  $355 \text{ N/mm}^2$  produzido por laminação controlada, um aço de  $420 \text{ N/mm}^2$  de limite de resistência.

#### 4.8.4. Efeito dos Tratamentos Térmicos de Alívio de Tensões

Um tratamento térmico de alívio de tensões é igualmente um tratamento metalúrgico de revenido.

Deve-se levar em conta segundo o caso o efeito benéfico do revenido sobre as estruturas duras combinadas - ou não com um efeito desfavorável de precipitação.

A figura 33 mostra que para uma mesma análise de base de um aço E36 com nióbio e no estado bruto de soldagem as tenacidades na ZTA são independentes do seu teor em nióbio

Constata-se que após o revenido à 600°C que o efeito é sempre favorável para um aço sem nióbio se bem que este efeito se ameniza com o aumento do  $\Delta T$ .

O aço com Nb apresenta um antagonismo entre o efeito do revenido e o da precipitação (12) .

Parece que o equilíbrio fica positivo para os  $\Delta T$  que correspondem aos processos de soldagem com energia normais ou em passes múltiplos.

Se, se levar em conta o fato de que a introdução de um dispersóide é acompanhada por uma diminuição do teor em carbono, as curvas precipitadas se situam em TK 28J mais favoráveis e o equilíbrio é ainda mais positivo. O alívio de tensões tem o mesmo efeito conforme figura 34.

Esta observação justifica a introdução de dispersóides nas placas espessas para soldagem multipasse na medida onde ela corresponde à uma diminuição do teor em carbono.

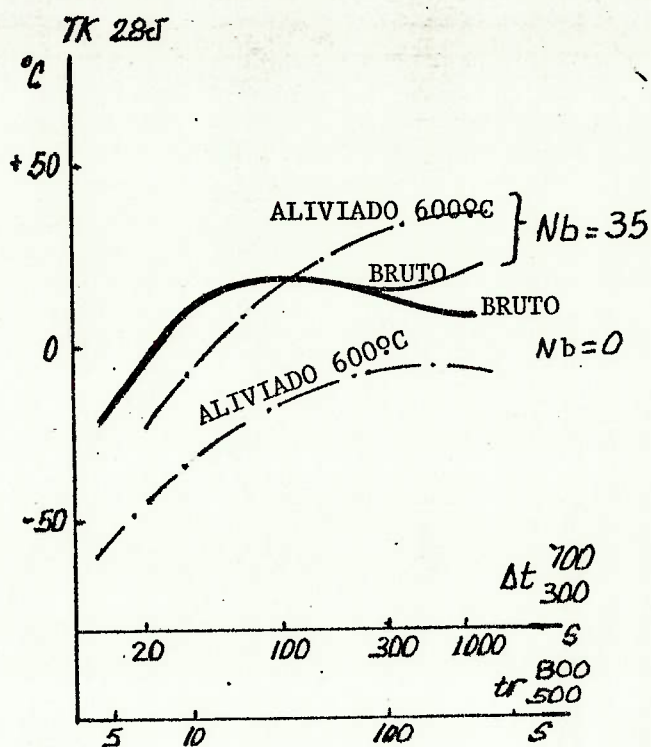


FIGURA 33 - INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DO ALÍVIO SOBRE A TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO DA ZTA SIMULADA DE AÇO COM E SEM Nb. (12)

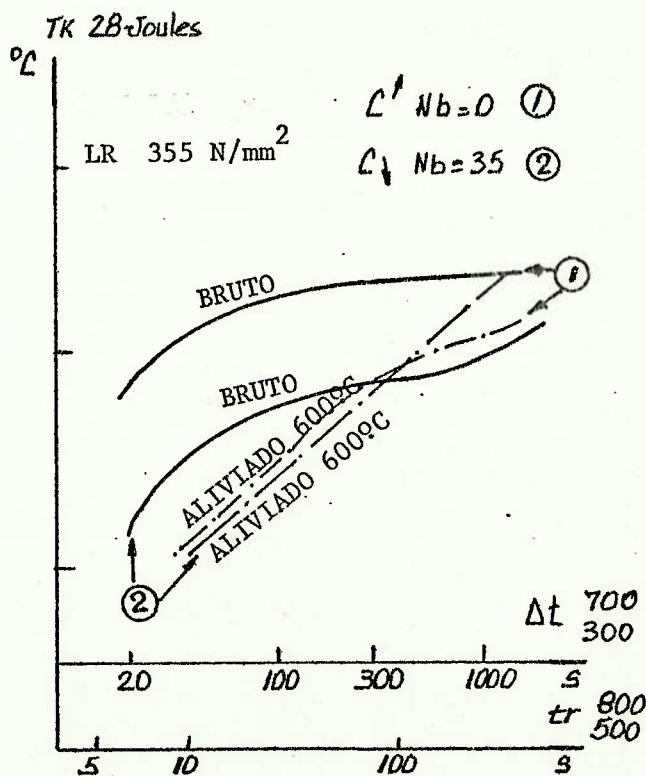


FIGURA 34 - TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO DA ZTA SIMULADA DE UM AÇO TIPO E355 COM OU SEM ADIÇÃO DE DISPERSÓIDES NO ESTADO BRUTO E NO ESTADO ALIVIADO. (12)



## 5. APLICAÇÃO A UM CASO REAL

### 5.1. Introdução

A razão principal nos levou a preparar esta dissertação de cunho didático/aplicado foi a necessidade de se utilizar um material microligado que em primeira análise apresentaria problemas de soldabilidade em uma construção de grande porte e cujos requisitos de segurança e confiabilidade correspondem a um dos níveis mais elevados em termos de fabricação em caldeiraria e montagem em campo.

O material em questão é o aço WSt E51, que está sendo usado na construção do envoltório das usinas nucleares de Angra II e III.

Este envoltório é uma esfera de 56 m de diâmetro, montado no campo a partir de aproximadamente 450 chapas previamente conformadas a quente.

Utilizando-se o processo de soldagem automática ao arco submerso e um dispositivo móvel para manutenção da junta na posição plana executa-se no campo, na área de pré-montagem, a soldagem de quatro chapas, duas a duas e depois dos conjuntos formando um segmento de 4 chapas.

Este segmento uma vez liberado em seus testes de testemunho de soldagem, de ensaios não destrutivos e dimensionais é enviado para área de montagem onde será posicionado e soldado pelos processos do arco elétrico manual - eletrodo revestido e ao arco elétrico automático - arco submerso a outros segmentos igualmente pré-montados.

Devido à necessidade de se passar tubulações e cabos através de envoltório projetou-se a construção de penetrações tubulares com diâmetros variáveis até no máximo 600 mm.

Estas penetrações são forjadas do mesmo material que as chapas que devem ser soldadas em posições normal ou inclinadas - sobre as chapas já conformadas. Razões de projeto obrigam - que estas chapas tenham espessuras superiores à 30 mm, chegando até 45 mm o que obriga à execução de um tratamento térmico de alívio de tensões após a soldagem.

Deste modo, estas atividades são totalmente executadas na caldeiraria.

Tendo em vista ser este caso aquele que exige maiores cuidados, o abordaremos completamente como exemplo de aplicação.

## 5.2. O Processo de Soldagem

Dadas as características específicas das juntas, e os diferentes diâmetros das penetrações em jogo não é viável o uso de processo de soldagem automático. Deste modo; a escolha recaiu sobre o processo de soldagem ao arco elétrico manual com eletrodo revestido.

Neste processo de soldagem por fusão, a junta soldada é conseguida devido a presença de um arco elétrico aberto entre o eletrodo revestido e a peça que se pretende soldar. A ponta do eletrodo, o arco elétrico e o metal base estão protegidos contra a ação nefasta da atmosfera pelos gases resultantes da queima do revestimento do eletrodo e cujos resíduos sólidos formam uma escória que protege o metal líquido durante sua solidificação e resfriamento.

O processo de soldagem ao eletrodo revestido tem sua aplicação bastante conhecida, é facilmente disponível e prático para a aplicação em questão; entretanto, o fato de ser manual conta com a participação importante do soldador o que por sua vez faz com que os controles sejam extensivos.

O controle dos parâmetros de soldagem como voltagem, corrente e velocidade devem ser executados constantemente.

Os dois primeiros são possíveis graças a instrumentos aferidos e seu registro é simples, porém a velocidade de deposição exige um controle indireto através da medida do comprimento de cordão depositado por um eletrodo inteiro e do tempo gasto.

A correta determinação destes parâmetros permite conhecer o calor imposto pela operação de soldagem e conseqüentemente sua influência sobre as características mecano/metalúrgicas do metal base afetado e da junta soldada.

### 5.3. O Metal Base e o de Adição para Soldagem

#### 5.3.1. Características do metal base :

O aço WStE 51 elaborado pela Thyssen alemã apresenta, conforme norma o seguinte :

##### a) composição química em % :

C .....	0,21	Ni .....	0,40/0,70
Si .....	0,10/0,50	P .....	0,035
Mn .....	1,30/1,70	S .....	0,035
V .....	0,10/0,20		

##### b) propriedades mecânicas para chapas de 16 a 70 mm de espessura :

resistência à tração : 610 - 780 N/mm<sup>2</sup>  
limite de escoamento : 450 - 500 N/mm<sup>2</sup>  
alongamento (L= 5 x d) : 16% min.  
impacto ISO V (+ 20°C) : 46 J (transversal)  
impacto ISO V (+ 0°C) : 31 J (transversal)

### 5.3.2. Características do eletrodo revestido

Em função das propriedades mecânicas e das condições de serviço o eletrodo escolhido tem o seu revestimento a baixo hidrogênio (tipo básico) e classificação AWS E-8018G nos diâmetros de 3,25, 4,0 e 5,0mm e comprimentos de 350, 450 e 450 mm, respectivamente.

As principais características deste eletrodo são :

a) Composição química do metal depositado (%).

C	Mn	Si	Ni
0,06	1,80	0,30	0,60

b) Conteúdo de hidrogênio e o metal de solda após tratado à 300°C por 2 horas, conforme ISO-Standard 3690 é = 5,0 ml/100 gr.

c) Propriedades mecânicas do metal depositado :

resistência à tração : 550/650 N/mm<sup>2</sup>  
limite de escoamento : 500 N/mm<sup>2</sup>  
alongamento (L=5 x d) : 24%  
resistência ao impacto ISO V 140 J (+ 20°C)

d) Condições de armazenamento e manuseio conforme as prescrições do fornecedor do eletrodo revestido.

#### 5.4. O Programa de Soldagem

Em função da particularidade dos materiais envolvidos e do tipo de junta a se executar houve necessidade de se efetuar o ciclo completo de ensaios, e todo documentado para cobrir toda a operação de soldagem.

A garantia de que toda operação será completamente executada e controlada é conseguida através do seguinte programa :

- a) preparo da especificação do procedimento de soldagem;
- b) preparo de um plano sequencial de atividades e inspeções cobrindo todo o trabalho de soldagem de penetração na chapa
- c) execução de soldagem, conforme o especificado e seguindo o plano sequencial para efetuar a qualificação do procedimento de soldagem;
- d) execução dos ensaios não destrutivos e destrutivos para qualificar o procedimento;
- e) qualificado o procedimento de soldagem, juntamente com a primeira soldagem de produção, executar e ensaiar completamente um testemunho de soldagem.

##### 5.4.1. Especificação do Procedimento de Soldagem

Uma vez definidos os materiais de base e de adição, a junta procede-se ao preparo da especificação do procedimento de soldagem que visa definir previamente os seguintes dados :

- esquema da junta;
- sequência de passes;
- posição de soldagem, tipo e bitola de eletrodo;
- intensidade de corrente máxima e faixa de tensões;
- temperatura de interpases e de pré-aquecimento;
- condições de tratamento do eletrodo.



O anexo 1 apresenta um modelo de Especificação de Procedimento de Soldagem.

Normalmente prepara-se também uma especificação de procedimento de soldagem, para um reparo simulado, que evita a necessidade de interromper os trabalhos de produção se ocorrer um defeito de soldagem.

Caso a junta requeira um tratamento térmico de alívio de tensões, como é o caso em questão, prepara-se também uma Especificação de Tratamento Térmico. Esta procura definir, em função da peça a ser tratada e do forno, as condições de aquecimento, velocidade de subida e descida da temperatura e temperatura de pátamar. O anexo 2 apresenta um modelo de Especificação de Tratamento Térmico.

#### 5.4.2. Plano Sequencial de Atividade e Inspeções

Uma vez aprovados os conteúdos das especificações de soldagem e de tratamento térmico, procede-se à preparação de um roteiro que define para toda a operação - as atividades e inspeções a serem realizadas etapa - por etapa em sequência cronológica de modo que somente se realiza uma atividade quando a anterior foi totalmente executada.

O plano tem por objetivo garantir a execução e verificação :

- a) da recepção do material base e de adição com respectivos certificados de qualificação;
- b) da qualificação de soldadores, supervisores e do equipamento de soldagem e controle de parâmetros de soldagem;

- c) do exame dimensional da chapa, e da inspeção ultra  
sônica da região a ser cortada;
- d) do pré-aquecimento e do corte;
- e) das condições de superfície do corte por partícula  
magnética;
- f) da temperatura de pré-aquecimento e do ponteamen  
to;
- g) dos passes de raiz, e de enchimento e da temperatur  
a interpasses;
- h) do acompanhamento da soldagem;
- i) da goivagem e enchimento pelo outro lado;
- j) dos passes de tratamento;
- k) das trincas superficiais de solda e metal adjacent  
e por partículas magnéticas;
- l) de defeitos internos por inspeção de ultra-som e/ou  
radiografia;
- m) do tratamento térmico de alívio de tensões;
- n) de novos ensaios não destrutivos;
- o) da marcação, retirada e preparação de corpos de  
prova para ensaios mecânicos;
- p) dos ensaios destrutivos e dos resultados com emiss  
ão de certificados;
- q) do controle da documentação final.

O anexo 3 (24) é um modelo de Plano Sequencial de Ativid  
ades e Inspeções.

Todos os controles são executados em conformidade com  
especificações e/ou procedimentos aprovados e têm seus  
resultados registrados em protocolos como o anexo 4.

(24) :

O protocolo de soldagem deve ser preenchido no instante da execução da soldagem e conforme anexo 4 (24) se verifica ser bastante completo.

#### 5.4.3. Qualificação do Procedimento de Soldagem

A qualificação é a execução da especificação seguindo as etapas do plano sequencial.

Na qualificação todos os parâmetros que foram especificados normalmente dentro de uma faixa, terão registrados os valores reais de execução e a aprovação da qualificação se dá com comparação entre os resultados obtidos e aqueles requeridos por normas, especificações ou procedimentos.

A execução dos ensaios destrutivos é feita conforme - um plano de amostragem previamente aprovado, segundo anexo 5. (24)

Uma vez qualificado o procedimento e sô então, é que se pode passar à execução dos trabalhos na produção - seguindo-se sempre um Plano Sequencial e com os parâmetros definidos nas Especificações de Procedimento.

#### 5.5. Execução da Qualificação do Procedimento de Soldagem da Penetração em uma Chapa Conformada .

##### 5.5.1. Características do Metal Base utilizado

A chapa utilizada de aço WSt E 51, elaborada pela Thyssen alemã, nas dimensões de 6000 x 1200 x 38 mm apresentou a seguinte composição química (%): (24):

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
I	0,17	0,18	1,52	0,010	0,003	0,04	0,01	0,66
II	0,17	0,18	1,50	0,009	0,003	0,03	0,01	0,64

	V	Al	Cu	Ti	Nb	N
I	0,16	0,010	0,05	≤ 0,01	≤ 0,004	0,0150
II	0,15	0,015	0,05	≤ 0,01	≤ 0,004	0,0150

onde : I - Análise de Corrida.

II - Análise da Chapa

Tomando-se por base a fórmula do Instituto Internacional de Soldagem apresentada no item 3.4.6. verifica-se que para a chapa o carbono Equivalente CE = 0,504 é alto e daí se prever problemas de soldabilidade.

O fato de ser microligado ao vanádio confere a este aço um alto nível de resistência mecânica e boa tenacidade, além de promover endurecimento por carbonitreto e refinar o grão.

Deste modo suas características mecânicas são (24):

a) Ensaio de Impacto ISO V

Temp. °C	Resist. ao Impacto (J)			Percentagem Cristalina			Expansão Lateral (mm)		
+20	127	144	136	0	0	0	1,80	2,12	2,06
0	94	93	103	35	35	30	1,55	1,26	1,49
-20	103	66	73	45	50	50	1,54	1,03	1,12
-40	49	48	54	70	70	70	0,74	0,78	0,80
-60	44	34	40	85	85	85	0,71	0,50	0,63
-80	31	25	34	90	95	90	0,49	0,25	0,43

- b) Drop Weight Test para determinação do temperatura NDT executado de acordo com a REL 520. (25)

<u>temperatura</u>	<u>resultado</u>
9C	não quebrou
- 10	" "
- 20	" "
- 20	" "
- 25	" "
- 25	" "
- 30	quebrou

temperatura de NDT = - 30°C

- c) Ensaio de tração à temperatura ambiente com corpos de provas retirados do topo (T) e da base (B) da chapa que foi previamente tratada para alívio de tensões e corpo de prova de  $\phi = 30$  mm.

Local de Retir.	Limite Resist. N/mm <sup>2</sup>	Resist.ã Tração N/mm <sup>2</sup>	Alongam. (%) (L=5xd)	Redução Área (%)	Espes. Chapa (mm)
T	488	620	27	49	38,7
B	475	617	29	52	38,9
Requerido	460 min.	610/780	19	-	-

- d) Ensaio de Impacto ISO V a - 20°C retirado a 1/3 da espessura no topo e base :

Local de Retirada	Resistência ao impacto (-20°C) (J)			Porcentagem cristalina (%)			Expansão Lateral (mm)		
T	84	74	76	70	70	65	0,7	0,6	0,9
B	82	78	92	75	50	60	0,8	0,8	0,9
requerido	34 média			-			-		



e) Ensaio de tração à 145°C na base (B) e corpo de prova de  $\phi = 10$  mm.

Nota : Normalmente se ensaia a tração à quente somente o local T ou B que apresentou menores resultados nos ensaios c e d acima :

Local de Retirada	Limite de Resistênc. N/mm <sup>2</sup>	Resist. à tração N/mm <sup>2</sup>	Alongam. (%) (L=5xd)	Redução Área (%)
B	420	561	26	66,4
Requer.	407	-	-	-

f) Ensaio de impacto DVM em corpo de prova pré tensionado a 5% à 20°C retirado à 1/4 da espessura na base.

Nota : A escolha para retirar o corpo de prova no topo ou base depende dos menores valores dos ensaios c e d anteriores.

Resistência ao impacto (J) = 118/95/116, média requerida 27J.

A penetração utilizada é um forjado de aço WSt E 51 elaborado a vácuo com  $\phi_i = 600$  mm e  $\phi_e = 750$  mm e comprimento de 600 mm - apresentou a seguinte composição química (24):

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
I	0,20	0,15	1,50	0,007	0,003	0,08	0,52	0,19	0,52
II	0,20	0,15	1,46	0,006	0,002	0,07	0,52	0,19	0,52

	Al	Cu	Ti	Nb
I	0,006	0,07	≤ 0,01	≤ 0,004
II	0,005	0,06	≤ 0,01	≤ 0,004

onde : I - Análise do Fundido

II - Análise do Forjado

Neste caso o CE calculado segundo 3.4.6 será CE = 0,638, valor considerado muito elevado.

### 5.5.2. Características do Eletrodo Revestido.

a) Dados Gerais :

- classificação ASME Secção II, Parte C, SFA 5.5, AWS E 8018G.
- tipo de revestimento básico - baixo hidrogênio;
- marca comercial : Tenacito 60 da Oerlikon;

b) Composição química :

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Ni
requerido	0,06	1,80	0,30	-	-	0,60
ensaiado 5,0 mm.	0,066	1,86	0,32	0,012	0,077	0,49
ensaiado 4,0 mm	0,062	1,81	0,37	0,007	0,008	0,49
ensaiado 3,25mm	0,06	1,70	0,54	0,011	0,006	0,63

c) Conteúdo em hidrogênio do metal depositado :

bitola/diâmetro (mm)	450 x 5,0	450 x 4,0	450 x 3,25
hidrogênio depositado (ml/100 g)	3,38	3,67	2,59
requerido	5,0	5,0	5,0

Nota : Os corpos de prova são tratados por 2 hs a 300°C, conforme ISO 3690.

d) Propriedades Mecânicas.

d.1) Ensaio de Tração à temperatura ambiente em corpo de prova na condição de soldado (S) e tratado (T) à 580°C por 4:30 hs.

		Resist. a tração N/mm <sup>2</sup>	Limite resist. N/mm <sup>2</sup>	Alongamento %	Redução de área %
requerido	S	-	-	-	-
"	T	590/710	≥ 500	≥ 20,0	-
Ø 5,0 mm	S	620	509	25,2	73,0
	T	611	522	24,8	70,0
Ø 4,0 mm	S	621	565	24,0	74,0
	T	596	500	24,6	70,8
Ø 3,25 mm	S	637	553	23,6	69,8
	T	592	500	25,4	75,0

d.2) Ensaio de Impacto ISO V à - 20°C em corpos de prova tratado (T) por 4:30 hs à 550°C em em - condições de como soldado (S) :

	Condição	Resistência ao Impacto (J)
requerido	T	média ≥ 80
Ø 5,0 mm	S	135
	T	111
Ø 4,0 mm	S	146
	T	117
Ø 3,25 mm	S	169
	T	120

O esquema da localização para retirada dos corpos de prova para qualificação dos eletrodos está no anexo 6 (24).

### 5.5.3. Sequência de Soldagem

A sequência de soldagem para qualificação do procedimento de soldagem seguiu o especificado e atende ao plano sequencial de atividades para qualificação.

Todos os dados e parâmetros de soldagem foram registrados em um protocolo de soldagem conforme anexo 4 (24). Este protocolo define e registra, além dos dados gerais, todos os parâmetros utilizados em cada cordão, por exemplo :  $\emptyset$  do eletrodo, polaridade e intensidade da corrente, comprimento do cordão depositado por um eletrodo inteiro, temperaturas de pré-aquecimento e interpases calculo do calor imposto, identificação do soldador e o esquema da sequência de passes.

A tabela 6 dá os parâmetros anotados para alguns passes de soldagem de um dos lados da penetração na chapa.

Outro dado importante que se deve levar em conta é a medição da distância entre o cordão de tempera e o metal base, de modo garantir que todo passe tenha sido tratado termicamente por um posterior. A distância entre uma lateral a um cordão e o metal base deve ser de no mínimo 1 e no máximo 5 mm.

TABELA 6

Passe Nº	Quantid. Cordões	Diâmetro Eletrodo (mm)	Corrente		Comprimento do cordão tempo (mm)/s	Temperatura interpas. °C	Calor imposto KJ/cm	Esquema da Junta
			polarid	intensid.				
1	10	3,25	+	120	100/60	200	19,9	
2	5	4,0	+	175	240/55	200	17,4	
3	5	4,0	+	175	245/45	190	17,6	
4	4	5,0	+	230	370/50	190	16,8	
5	4	5,0	+	230	345/50	200	17,9	
9	4	5,0	+	200	355/70	180	16,6	
12	3	5,0	+	200	490/35	190	13,6	
15	3	5,0	+	200	490/45	190	13,2	
20	3	5,0	+	200	430/65	200	14,2	
24	3	5,0	+	215	430/95	190	13,2	
26	4	5,0	+	170	250/80	180	23,0	
27	4	5,0	+	205	320/70	180	18,4	

Nota : Alguns parâmetros de soldagem anotados no protocolo de soldagem para qualificação (total 27 passes e 104 cordões para 1 só lado). (24)



#### 5.5.4. Tratamento Térmico

Em conformidade com o Plano Sequencial e com a Especificação de Tratamento Térmico realizou-se o seguinte tratamento :

Parâmetro	Unidade	requerido	efetivo
gradiente de aquecimento após 300°C	°C/h	máx. 80	70
tempo de patamar	min.	270	270
temperatura de patamar	°C	550 $\pm$ $\begin{matrix} 20 \\ 0 \end{matrix}$	560
gradiente de resfriamento até 300°C	°C/h	50 - 80	75

Nota : Foram utilizados 4 termopares posicionados dentro e fora do forjado e em cima e embaixo da chapa.

#### 5.5.5. Ensaios Não Destrutivos

Segundo o Plano Sequencial os ensaios não destrutivos - devem ser executados em várias etapas de modo garantir a inexistência de defeitos antes, durante e depois da soldagem e tratamento térmico.

Basicamente se executou e protocolou os seguintes ensaios :

- a) antes da soldagem: ultra-som na região de corte da chapa e na de soldagem do forjado; partícula magnética no chanfro preparado da chapa;
- b) durante a soldagem : partícula magnética após a goivagem do passe de raiz quando um lado da junta já foi preenchido;
- c) após a soldagem : partícula magnética e ultra-som da junta soldada;
- d) após o tratamento térmico: ultra-som da junta soldada e tratada;

#### 5.5.6. Ensaio Destrutivos

Com o objetivo de se verificar as propriedades mecânicas do conjunto soldado se executou, atendendo ao Plano Sequencial e à Especificação de Projeto, os seguintes ensaios : tração, dobramento, impacto ISO V, queda livre, dureza, macro e micrográfico.

O anexo 5 (24) mostra a forma de se retirar e identificar estes corpos de prova.

Como resultado encontrou-se o seguinte :

- a) Ensaio de Tração :

Corpo de Prova nº	1.1.		1.2		1.3	
	req.	efet.	req.	efetivo	req.	efet.
dimens.mm	-	30x35	-	30x34,8	-	Ø 10
lim.escoamento N/mm <sup>2</sup>	450	483	450	473	412	479
rest.tração N/mm <sup>2</sup>	580 760	610	580 760	611	530	580

Nota : o c.p. 1.3 se localiza sobre o metal de solda.

b) Ensaio de Dobramento :

Corpo de prova nº	2.1	2.2	2.3	2.4
dimensões mm	30x30	30x30	30x30	30x30
ângulo de dobramento	180º	180º	180º	180º
alongamento %	30	29	29	29
fraturou	não	não	não	não

c) Ensaio de Impacto ISO-V :

c.1) Transversal ao metal de solda :

Corpo Prova Nº	Energia Absorv. (J)	Expansão Lateral (mm)	Fratura p/Cizalh (%)	Temper. Ensaio (ºC)
3.16	207	2.3	10	+ 20
3.17	199	2.4	20	+ 20
3.18	214	2.3	15	+ 20
3.4	147	1.9	25	+ 0
3.5	193	2.3	20	+ 0
3.6	146	2.0	15	+ 0
3.1	129	1.8	25	- 20
3.2	117	1.6	30	- 20
3.3	128	1.8	40	- 20
3.7	95	1.5	30	- 40
3.8	118	1.8	30	- 40
3.9	125	1.9	30	- 40
3.10	105	1.6	40	- 60
3.11	85	1.4	60	- 60
3.12	67	1.1	70	- 60
3.13	30	0.4	85	- 73
3.14	61	0.9	60	- 73
3.15	7	0.3	95	- 73

Nota : para o metal base é requerido :

ISO V 0°C média 35J mín. 26J

-20°C média 31J mín. 22J

c.2) Transversal à zona termicamente afetada:

Corpo de Prova	Energia Absorv.	Expansão Lateral	Fratura p/Cizalhamento.	Temperat. de Teste
Nº	(J)	(mm)	(%)	(°C)
3.31	156	1.7	15	+ 20
3.32	219	2.2	15	+ 20
3.33	161	1.8	15	+ 20
3.22	147	1.7	20	+ 0
3.23	200	-	20	+ 0
3.24	94	-	40	+ 0
7 R1	116	1.7	50	+ 0
7 R2	92	0.9	30	+ 0
3.19	89	1.2	40	- 20
3.20	137	1.7	35	- 20
3.21	124	1.6	35	- 20
3.25	15	-	80	- 40
3.26	54	0.8	40	- 40
3.27	79	-	20	- 40
7 R3	44	0.6	90	- 40
7 R4	28	0.5	95	- 40
3.28	78	1.0	40	- 60
3.29	6	0.1	95	- 60
3.30	35	0.1	80	- 60

Nota :

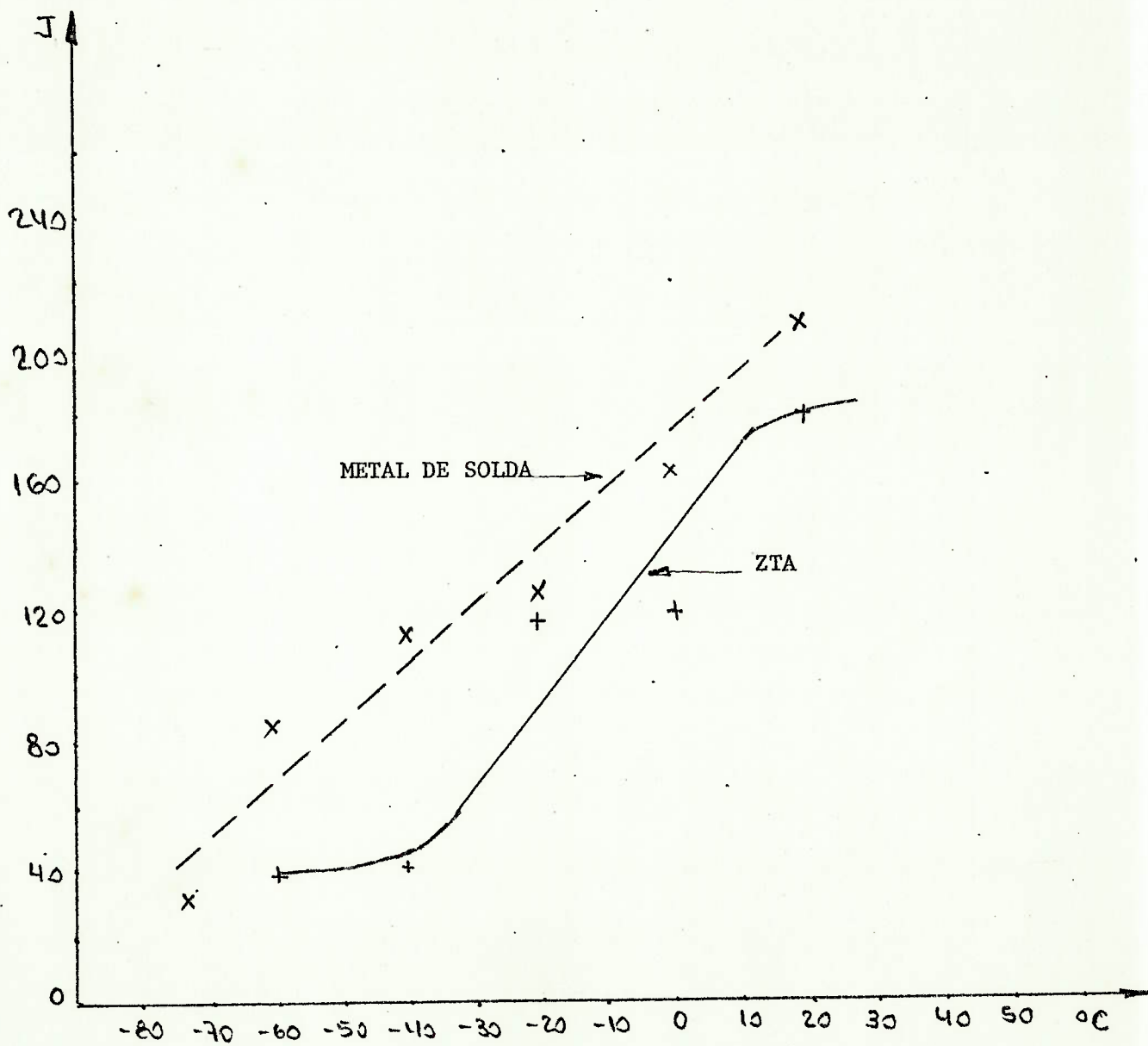
1) para o metal base é requerido (25J)

ISO V + 0°C média 35J, mín. 26J

ISO V - 20°C média 31J, mín. 22J

Nota 2 : 7R1 reteste de 3.23  
7R2 " de 3.24  
7R3 " de 3.25  
7R4 " de 3.27

c.3) Curvas de energia absorvida x temperatura para metal de solda e ZTA





d) Drop Weight Test :

- peso do martelo 48,5 kg.
- altura 0,850 m.
- energia de queda 41 kgm.
- cordão fragilizante :
  - . posição transversal;
  - . eletrodo Fox Dur 350,  $\phi = 5$  mm;
  - . corrente : 170 A máx.;
  - . polaridade : +
  - . pré-aquecimento : não;
  - . oscilação : não;
  - . sequência : de uma extremidade para o centro, espera resfriar ao ar, de outra extremidade para o centro.

Local do Ensaio	Corpo de Prova Nº	Temperatura de Teste (°C)	Comprimento da Trinca (mm)	Resultado Quebrou	
				Sim	Não
metal de solda	4.4	- 30			x
	4.6	- 50		x	
	4.5	- 45		x	
	4.2	- 40			x
	4.3	- 40			x
Z.T.A.	4.7	- 30			x
	4.11	- 60		x	
	4.12	- 50			x
	4.10	- 50			x
	4.9	- 55		x	
4.8	- 55		x		

Nota : Metal de solda NDT = - 40°C

Z.T.A. NDT = - 50°C

OBS.: Estes valores atendem à especificação de projeto (26), ver nota pág. 98.

e) Ensaio Metalográfico :

Na junta soldada foram preparadas uma macro e quatro micrografias que estão apresentadas no anexo 7. (24)  
Como resultado em termos de :

e.1) tamanho de grão ASTM E 112 na ZTA: min.7 e máx.5.

e.2) avaliação da estrutura no metal base : perlita e ferrita; na ZTA : produtos de transformação.

f) Ensaio de Dureza :

Foram realizados 73 medidas de dureza HV 10 indicados na macro anexo 7, (24) com os resultados abaixo:

identificação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
local	MS	MS	MS	MS	MS	MS	ZTA	ZTA	ZTA	ZTA
HV10	204	199	192	178	204	210	219	286	286	249
identificação	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
local	ZTA	MB	MS	MS	MS	MS	MS	MS	ZTA	ZTA
HV10	210	167	172	175	183	172	169	187	232	227
identificação	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
local	ZTA	MB	MS	MS	MS	MS	MS	MS	ZTA	ZTA
HV10	210	188	178	183	183	183	199	199	257	249
identificação	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
local	ZTA	ZTA	MB	MB	ZTA	ZTA	ZTA	MB	MB	MB
HV10	210	246	180	175	190	232	254	142	144	137
identificação	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
local	MB	MB	MB	ZTA	ZTA	ZTA	ZTA	ZTA	MB	MS
HV10	137	137	132	262	257	232	227	201	192	185
identificação	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
local	MS	MS	MS	MS	MS	ZTA	ZTA	ZTA	ZTA	MS
HV10	197	204	195	210	192	283	268	232	223	187

identificação	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
local	MS	-	-	MS	ZTA	ZTA	ZTA	MS	MS	MS
HV10	187	-	-	175	206	246	303	210	169	167
identificação	71	72	73							
local	MS	MS	MS							
HV10	199	199	208							

MS = metal de solda

ZTA = zona termicamente afetada

MB = metal base

OBS: Estes valores atendem à especificação de projeto (26).

NOTA: Da análise dos resultados dos ensaios de Drop Weight e impacto verificamos que existe correlação entre a temperatura NDT e a passagem de ruptura dúctil para frágil no caso do metal de solda, entretanto na zona termicamente afetada o mesmo não se verificou.

Novas pesquisas devem ser efetuadas no sentido de solucionar o problema.

5.6. Considerações sobre os problemas encontrados e soluções adotadas

Os pontos abaixo relacionados evidenciam a ocorrência de problemas de soldabilidade:

- a) composição química do metal base;
- b) reduzidos graus de liberdade para execução da soldagem;
- c) utilização do processo de soldagem ao arco elétrico manual;
- d) diferença de massa das partes a serem soldadas;
- e) requisitos elevados de segurança em função da aplicação;

Cada uma destas evidências individualmente ou em conjunto com outras leva a uma série de problemas que se procurou levantar e prescrever soluções antes de se iniciar os trabalhos.

5.6.1. Problema : Carbono Equivalente do Metal Base

Evidência :

- a) Composição química de norma, conforme o item 5.3.1. onde CE mín.= 0,502 e CE máx.= 0,579; estes valores considerados altos demonstram possibilidade de formação de martensita na zona termicamente afetada.

Solução :

- a) escolher para as chapas nas quais serão soldadas penetrações aquelas que apresentam os menores CE ou se elabore corridas especiais degaseificadas à vácuo com melhor composição química, caso da chapa usada na aplicação apresentado em 5.5.1.

5.6.2. Problema : Processo de Soldagem ao Arco Elétrico Manual

Evidência :

- a) depende do homem;
- b) induz grande quantidade de calor;
- c) utiliza um metal de adição higroscópico;

d) difícil o controle do calor imposto;

Solução :

- a) ensaiar e qualificar o eletrodo revestido;
- b) treinar e qualificar o soldador e o supervisor de soldagem, inclusive na técnica de manutenção de uma velocidade e oscilação constantes;
- c) conscientizar o soldador para as prescrições e cuidados com o eletrodo revestido, sua armazenagem, manuseio e uso;
- d) preparar e qualificar o procedimento de soldagem;
- e) controlar com eficácia os parâmetros de soldagem;

### 5.6.3. Problema : Defeitos de Soldagem.

#### 5.6.3.1. Trinca por arrancamento lamelar

Evidências :

- a) poucos graus de liberdade com ocorrência de tensões no momento da soldagem;
- b) ponteamto deve ser executado diretamente no chanfro;
- c) espessuras envolvidas superiores à 25 mm;

Soluções :

- a) utilizar ângulos e aberturas adequados no chanfro compensando os poucos graus de liberdade;
- b) usar sequências de soldagem adequada de modo equilibrar as tensões no momento da soldagem;
- c) controlar principalmente os teores de Mn e S dentro dos prescritos em 5.3.1., de modo evitar a formação de MnS.



5.6.3.2. Trinca a Frio

Evidências :

- a) influência da composição química em termos de C.E. e PCM item 3.4.6., onde os valores encontrados evidenciam a possível formação de martensita na ZTA :

Composição Química da	C.E.		PCM	
	ideal	efet.	ideal	efet.
norma	< 0,50	0,5796	0,18/0,28	0,338
chapa	< 0,50	0,504	0,18/0,28	0,2847
penetração	< 0,50	0,6376	0,18/0,28	0,3467

- b) influência do reduzido nº de graus de liberdade em função do tipo de soldagem agindo como indutor de tensões;
- b) eletrodo de revestimento básico altamente higroscópico agindo como possível indutor de hidrogênio.

Soluções :

- a) efetuar ensaios de soldabilidade no metal base em diferentes condições;
- b) verificar as condições de endurecimento - sob cordão e na ZTA;
- c) especificar e qualificar um procedimento de soldagem adequado e o mais representativo possível da junta a ser soldada na produção;
- d) efetuar um rígido controle de todos os parâmetros de soldagem, principalmente aqueles que levam à determinação do calor imposto na faixa de 12 a 30 KJ/cm, utilizando-se

a medida do comprimento do cordão depositado, conforme tabela 2.

- e) armazenar, manter e usar os eletrodos de revestimento conforme indicações do fornecedor, para o Tenacito 60 :

	Estocagem		Secagem*		Manutenção	
					Almox.	Local
	U%	T(°C)	T(°C)	t(h)	T(°C)	T(°C)
I	< 60	17/37	300/350	2	150	130/170
II	50	20/35	300/350	2	150	130/170

- Notas : I - Fornecedor do Eletrodo.  
II - Caso Real  
\* - Máximo de 5 ressecagens = 10hs  
U - Teor de Umidade

O anexo 8 mostra um fluxo esquemático do recebimento ao uso do eletrodo revestido e de outros materiais de adição de soldagem;

- f) controlar o cordão de revenido que deve ser medido a cada 100 mm de distância no sentido longitudinal do cordão e garantir que no sentido transversal a distância entre o passe de tempera e o metal base adjacente seja entre 1 e 5 mm;
- g) dividir o cordão e executar os passes simultaneamente em dois quadrantes opostos, de modo que haja um equilíbrio das tensões impostas reduzindo o atracamento;
- h) evitar pontos curtos e em um só passe preferindo pontos de no mínimo 120 mm de comprimento, compostos por 3 passes no mínimo ter

minando em cascata como mostra a foto do anexo 9;

- i) efetuar limpeza do chanfro a ser soldado evitando vestígios de graxa, óleo, ferrugem ou umidade;
- j) determinar uma faixa correta de temperaturas de pré-aquecimento, interpasses e pós aquecimento e garantir que as mesmas sejam seguidas;

### 5.6.3.3. Trincas devido ao Reaquecimento

Evidências :

- a) necessidade de se efetuar um tratamento térmico de alívio de tensões;
- b) considerando os parâmetros  $\Delta G$  e PSR do item 3.5, temos :

Composição Química da	G		PSR	
	req.	efetivo	requer.	efetivo
norma*	$\Delta G < 0$	-0,18*	PSR < 0	0,0*
chapa	$\Delta G < 0$	-0,506	PSR < 0	-0,323
penetração	$\Delta G < 0$	+1,505	PSR < 0	+1,148

Nota-se que para o forjado da penetração há indicação de surgimento de trincas de reaquecimento. \*Os dados de norma não indicam teores de Mo, Cr, Cu, Ti, Nb.

5.6.4. Problema : Tratamento Térmico de Alívio de Tensões

Evidências :

- a) espessuras envolvidas superiores a 30 mm;
- b) composição química do aço com alto CE;
- c) grande quantidade de passes e introdução de muito calor durante a soldagem;

Solução :

- a) preparar e qualificar especificação de tratamento térmico adequado para o caso em questão;
- b) garantir o perfeito funcionamento do forno, dos termopares e dos registradores;
- c) garantir o perfeito posicionamento do conjunto antes e durante o tratamento térmico.

## 6. CONCLUSÕES

A solução de um problema tecnológico exige um estudo minucioso, baseado no reconhecimento das causas, na avaliação das consequências e na prescrição de medidas preventivas e/ou corretivas.

Esta dissertação teve por objetivo a solução de um problema de soldabilidade de um aço de baixa liga e alto limite de resistência e o desenvolvimento de um programa de trabalho didático aplicado, que eventualmente pode ser utilizado em outros casos.

O método demonstrou ser eficiente e apresentou resultados satisfatórios quando utilizado na soldagem de conexão em chapa previamente conformada, de material de alto limite de resistência e baixa liga.

Para tanto definiu-se sequência a seguir:

- a) Adoção criteriosa das bases de cálculo para juntas soldadas em função do equipamento a ser projetado;
- b) Escolha consciente do material base levando em conta não só os requisitos, de propriedades mecânicas como também a análise do grau de soldabilidade;
- c) Definição e detalhamento adequado dos chanfros, considerando inclusive condições melhores para execução da soldagem e dos ensaios;
- d) Criteriosa especificação do procedimento de soldagem, tomando como base códigos e normas aplicáveis;
- e) Definição das faixas dos parâmetros de soldagem especificados, tais como: intensidade de corrente e tensão, velocidade de deposição, calor imposto, temperaturas de pré e pós aquecimento e de interpasse;
- f) Cuidadosa escolha do processo de soldagem em função da adequação à necessidade, disponibilidade de equipamentos e de pessoal qualificado, bem como da produtividade, da qualidade desejada, dos investimentos e dos custos;
- g) Definição do material de adição de soldagem, baseada não só nas propriedades mecânicas, como também nas condições de manuseio, dis



- ponibilidade, versatilidade do uso, qualidade, deste modo deve-se considerar também as vantagens de uma marca sobre a outra conforme o processo de fabricação e controle de qualidade do fornecedor, etc;
- h) Definição da sequência de soldagem, da bitola dos materiais, da posição de soldagem, etc;
  - i) Treinamento e qualificação de soldadores, supervisores de soldagem e inspetores de soldagem;
  - j) Aferição de todos os instrumentos de medição e controle dos parâmetros de soldagem e qualificação dos equipamentos de soldagem;
  - k) Execução correta da inspeção de recebimento de equipamentos e acessórios, de material de adição de soldagem, do metal base; de modo que a qualquer momento se poder comprovar a qualidade dos produtos através de certificados emitidos pelo fornecedor;
  - l) Escolha de métodos adequados de preparação, limpeza e montagem da junta a ser soldada;
  - m) Preparo e execução da junta soldada, como especificada e que será solda de modo que represente o mais próximo possível as condições da obra;
  - n) Coleta correta dos parâmetros utilizados na qualificação em protocolos de soldagem que permita indicar e visualizar todos os dados importantes do processo;
  - o) Execução dos exames não destrutivos da junta a ser qualificada por pessoal treinado e qualificado, conforme especificações, normas ou procedimentos previamente aprovados;
  - p) Execução de tratamento térmico de alívio de tensões em fornos previamente aferidos;
  - q) Execução de exames não destrutivos;
  - r) Execução dos exames destrutivos requeridos em laboratório capacitado e com instrumentos aferidos;
  - s) Emissão de certificados dos exames destrutivos e não destrutivos com consequente emissão de certificado de qualificação de procedimento de soldagem;
  - t) Elaboração de planos sequenciais que facilitam a fabricação e a inspeção, além de garantir que todas atividades sejam presenciadas no mínimo pelo inspetor de controle do fabricante;

- u) Execução, para cada lote de materiais ou quantidades de materiais de adição de soldagem depositado, de um testemunho de soldagem que represente a junta real e que seja examinado do mesmo modo que na qualificação;
- v) Preparo de procedimento geral de soldagem, que defina desde o fluxo do material de adição até o armazenamento, manuseio, tratamento e uso entre outras precauções;
- x) Compilação correta e completa de toda documentação recebida e gerada antes, durante e depois da execução da junta soldada; de modo permitir total rastreabilidade de todas as etapas que influenciaram em sua execução.

A adoção criteriosa destes dispositivos levou resultados altamente positivos na soldagem de quase uma centena de conexões em chapas havendo inclusive caso de soldar-se 17 conexões em uma só chapa com tratamento térmico intermediário.

Por outro lado, como consequência da aplicação verificou-se a importância do uso de conceitos fundamentais de garantia da qualidade ainda que implícitos nas atividades prescritas.

A aplicação do método em outros casos, a análise dos resultados sobre os testemunhos de produção e melhor definição das soluções propostas deve ser tema de investigações futuras.

7. ANEXOS

ANEXO 1

ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (24)

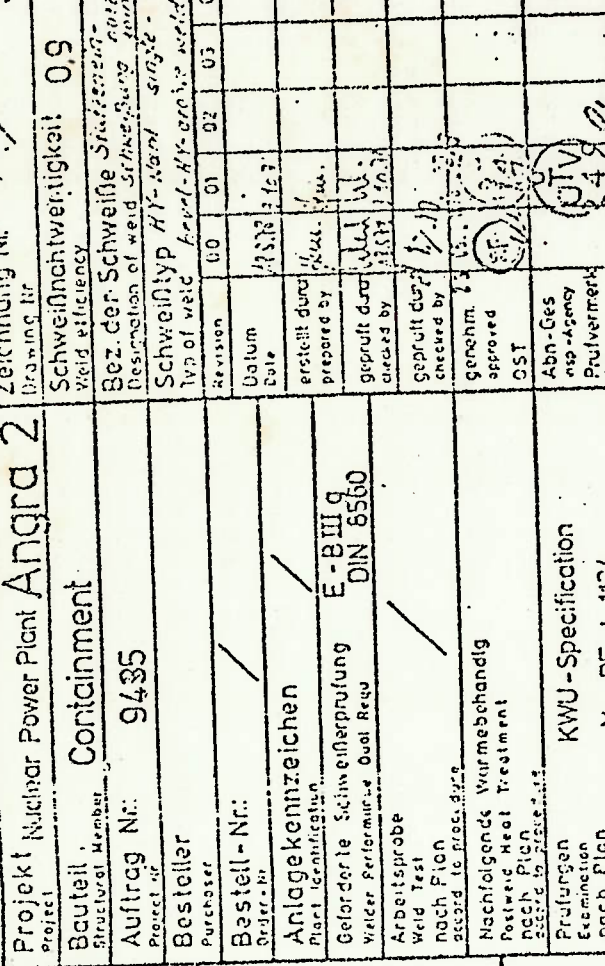


# Confal Noell

## Schweißplan SP-VP

Welding Procedure No. 7

Projekt Nuclear Power Plant Angra 2  
 Zeichnung Nr. 09  
 Schweißnachrichtigkeit 0,9  
 Bauteil Containment  
 Auftrag Nr. 9435  
 Besteller  
 Bestell-Nr.  
 Anlagenkennzeichen  
 Geforderter Schweißprüfung E-BIIIg  
 Weiter Performanz Qual Req. DIN 8560  
 Arbeitsprobe  
 Nachfolgende Wärmebehandlung  
 nach Plan  
 Prüfungen  
 nach Plan  
 KWS-Spezifikation  
 No. RE-L 1134  
 Tracking/Drying Vortrocknung: 2h - 300-350°C  
 Elektroden  
 Verarbeitung: 150°C aus dem Köcher  
 bis 100°C von electrode box



Verfahrensprüfung (VP)  
 welding procedure test (PT)  
 x = Abstand der Temperlage 1 ± 5 mm  
 x = distance of temper bead 1-5 mm  
 Grundwerkstoffe / Base Metal  
 Hersteller / DIN- / ASME / ASTM-Bezeichnung  
 Trade Name / DIN- / ASME / ASTM-Designation  
 P-Nr.  
 P.No.  
 1 BH 51 S (WSTE 51)  
 2 BH 51 S (WSTE 51)

Stromart	MAX.	V	Legen- zeit Min.	Number of Passes
=	135		175	1
+	21-25		220	2
=	180		175	10
+	21-25		220	2
=	240		175	10
+	21-25		220	2
=	180		80	2
+	21-25		175	2
=	240		220	4

Schweiß- folge	Schweiß- verfahren	Schweiß- position	Schweiß- position	Schweißmaterialie / Welding Materials		Abmessung (mm)	Schweiß- geschw. (mm/min)
				Chargen-Nr. Heat. No.	F-Nr. F No.		
SF 1	E-Hand SCHW	W	1G	Tenacito 60		3,25	
SF 2	"	"	"	Oerlikon AWS E 8018-G		350	
SF 3	"	"	"	"		4,0	
SF 4	"	"	"	"		450	
SF 5	"	"	"	arc gouging by carbon electrode		5,0	
SF 6	"	"	"	Tenacito 60		4,0	
SF 7	"	"	"	Oerlikon		450	
SF 8	"	"	"			5,0	

1) cf. instruction "length of bead"  
 2) cf. recommendation for string  
 and treatment of filler materials



ANEXO 2

ESPECIFICAÇÃO DE TRATAMENTO TÉRMICO (24)

Teil  
Struktur member

Auftrag Nr.: 9435

Verfahrensprüfungen

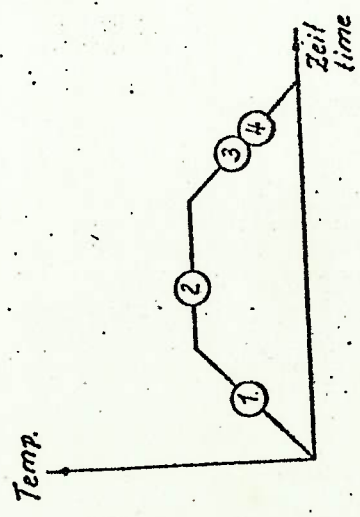
procedure test

VP-No 7

Mitglieder  
A- und G-Proben  
working and heat  
treatment samples  
following a ...

Skizze  
sketch

Temperatur - Zeit - Diagramm  
Temperature - time - diagram



Wärmebehandlung  
heat treatment

Die Wärmebehandlung der Verfahrensprüfung soll im Produktionsofen durchgeführt werden.

Die Wärmebehandlung ist durch Maßstab zu belegen.

① Aufheizen ab 300°C mit max. 80°C/h Aufheizrate.

② Haltezeit 270 Minuten, Halte Temperatur bei 550°C  $\pm 20^\circ\text{C}$   $\pm 0^\circ\text{C}$

③ Abkühlung im Ofen bis 300°C bei 50-80°C/h Abkühlrate.

④ Abkühlung an ruhender Luft ab 300°C.

Die Haltezeit errechnet sich aus max. Wanddicke des Segmentbleches (= max. Schweißnähtdicke) x 2 Minuten x 3 Glühungen, d. h. 14,5 mm x 2 Minuten x 3 Glühungen = 270 Minuten.

The heat treatment of the procedure test should be performed in the production furnace.

The heat treatment is to be evidenced by measuring report.

Heating by starting at 300°C with max. 80°C/h furnace heating rate.

Holding time 270 minutes \* holding temperature at 550°C  $\pm 20^\circ\text{C}$   $\pm 0^\circ\text{C}$

Cooling in furnace above 300°C with cooling rate 50-80°C.

Cooling at resting air by starting 300°C.

The holding time is calculated from max. wall thickness of dished plate (= max. throat of weld seam) x 2 minutes x 3 heat treatments, e. g.

Revision	Datum / date	Hersteller / prepared	geprüft / checked	genehm. / approved
00	10.5.78	Atwin	H.S. U.S.	
01				

Art der Änderung  
type of modification

Prüf- und Freigabevermerk  
inspection, acceptance note

Gutachter / assessor

Prüfvermerk  
test note

12. Okt. 1978

Signature

ANEXO 3

PLANO SEQUENCIAL DE ATIVIDADES E INSPEÇÕES (24)





Fertigungs-ur Prufolgeplan FP  
 fabrication and examination sequence FP  
 Verfahrensprüfungen procedure test 7

Pruf-Nr	Schritt-Nr	Spezifikation	Beschreibung	Prüfungen		Bemerkungen	Beleg
				Prüfung	durch		
7	12	KWU-Spezifikation Plan Nr. specification plan No	Füll- und Decklagen schweißen mit einer Unterbrechung Abkühlung auf RT	Prüfung	H		
8	13	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=80°C	Vorwärmen 80°C zum Fügen	Prüfung	H		
9	14	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=80°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=80°C	Prüfung	H		
10	15	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
11	16	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
12	17	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
13	18	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
14	19	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
15	20	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
16	21	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
17	22	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		
18	23	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Kontrolle der Vorwärmtemperatur T=175°C	Prüfung	H		

revision	Hersteller manufacturer		Art der Änderung type of modification	Prüfung	Prüfer	Datum date
	erstellt prepared	geprüft checked				
00	18.5.78					
01	2.10.78					
02						

12-Okt-1978  
 12



Prüf-Nr. test No	Schritt-Nr. sequence No	Spezifikation Plan Nr. specification	Beschreibung description	Prüfungen examination test	Werkstoff material	Prüfungen durch examination		Bemerkungen remarks	Beleg Kenn- zeichnung drawing
						H	T		
15	24		Kontrolle der Saumbreite (ohne Protokoll) <i>check of temper bead width (without certificates)</i>						
	25		Nahf prüfbar schleifen <i>weld to be ground examinable</i>						6
16	26	AVS 11 / 2.2	OTR-Prüfung der Schweißnaht <i>Surface-crack inspection of weld</i>	X					7
17	27	Spec. 6.3.6	US-Prüfung der Schweißnaht <i>Ultra-sonic inspection of weld</i>	X					77-1
18	28	Spec. 6.3.6	Wärmebehandlung spannungsarmglähen <i>heat treatment, stress relieved</i>						8
19	29	AVS 22	OTR-Prüfung der Schweißnaht <i>Surface-crack inspection of weld</i>	X					9
20	30	Spec. 6.3.6	US-Prüfung der Schweißnaht <i>Ultra-sonic inspection of weld</i>	X					
	31	AVS 22	Proben anreißen und anstempeln <i>Samples to be marked and stamped</i>						
	32	WPP-V7	Probenbearbeitung <i>Marking of samples</i>						
	33	Spec. Anh. 10	Mechanisch-technologische Prüfung und Auswertung <i>Mechanical-technical examination and evaluation</i>						
	34	Spec. Anh. 10	Bearbeitung und Zustimmung zur VP <i>Evaluation and approval of procedure</i>						
	35	1.4.5	Abschlussbericht erstellen <i>Preparation of final report</i>						
22			Kontrolle der Dokumentation und Freigabe <i>Control of documentation and release</i>						

ANEXO 4

PROTOCOLO DE SOLDAGEM (24)



NOELL

Welding Procedure Qualification Test VP - No. 7

Projekt: Containment Angra 2

*2.11.73*

Base metal	Trade name	Heat No.	Test No.
Pos. 1	W STE 51	500827	3383
Pos. 2	W STE 51	501407	10017

Sequence	Position	welding process	Electrode / Wire		Flux		Gas
			Trade name	Heat No.	Trade name	Heat No.	
lack welding	W-19	E-MAN	TENSIC 70 60 φ3	068045	-	-	-
root welding	"	"	"	"	-	-	-
filling - and top layers	"	"	TENSIC 60 φ4 " " φ5	068076 068077	-	-	-
arc gouging	"	-	CARBON	-	-	-	-
reverse side welding	"	"	TENSIC 60 φ4 " φ5	068076 068077	-	-	-

Number of beads	El. / Wire (φ mm)	Current Polarity	J (Amps)	U (Volts)	Speed (cm/min.)	Width of Oscill (cm)	Preheat Temp.	Heat Input (KJ/cm)	welder's stamp No.
					length bead (mm)/stub		Interpass Temp. (°C)		
1/1	3.25	+	120		85/75		200	21.8	L4
1/2	"	"	"		110/55		"	18.9	"
1/3	"	"	"		100/60		"	19.9	"
1/4	"	"	"		110/55		190	18.9	"
1/5	"	"	"		100/60		200	19.9	"
1/6	"	"	"		100/50		"	20.8	"
1/7	"	"	"		100/60		"	19.9	"
1/8	"	"	"		100/70		"	19.4	"
1/9	"	"	"		100/75		"	18.9	"
1/10	"	"	"		90/80		"	20.8	"
2/1	4.0	+	175		240/60		200	17.2	L4
2/2	"	"	"		240/55		"	17.4	"
2/3	"	"	"		240/55		"	17.4	"
2/4	"	"	"		240/55		"	17.4	"
2/5	"	"	"		240/50		"	17.6	"
3/1	4.0	+	175		250/55		190	16.5	L4
3/2	"	"	"		250/55		"	16.5	"
3/3	"	"	"		250/65		"	20.1	C3
3/4	"	"	"		210/75		"	18.8	"
3/5	"	"	"		245/45		"	17.6	L4
4/1	5.0	+	230		350/55		200	17.5	L4

Q. 60 x 1.5 x 1000 [KJ/cm]

Buildup sequence  
S. next page

Manufacturer <i>[Signature]</i>	Inspection <i>[Signature]</i>	Inspection <i>[Signature]</i>
Date welding con.	Date	Date <i>17.11.73</i>

CONFAB

NOELL

Record 2.1

Welding Procedure Qualification Test VP - No. 7

Page 2 of 5

2.110 / 3.17 F3

Projekt: Containment Angra 2

Base metal	Trade name	Heat No.	Test No.
Pos. 1	W STE 51	500827	3383
Pos. 2	W STE 51	501407	10017

Sequence	Position	welding process	Electrode / Wire		Flux		Gas
			Trade name	Heat No.	Trade name	Heat No.	
tack welding	W-19	E-MAW	TENAC. 70 GG φ3	068045	-	-	-
root welding	"	"	"	"	-	-	-
filling - and top layers	"	"	TENAC. GG φ4	068076	-	-	-
			" " φ5	068077			
arc gouging	"	-	CARBON	-	-	-	-
reverse side welding	"	"	TENAC. GG φ4 " " φ5	068076 068077	-	-	-

Number of beads	El./Wire (φ mm)	Current Polarity	J (Amps)	U (Volts)	Speed (cm/min.)	Width of Oscill (mm)	Preheat Temp.	Heat Input (KJ/cm)	welder's stamp No.
					length bead (mm) / stub		Interpass Temp. (°C)		
4/2	5.0	+	230		380/40		200	16.8	L4
4/3	"	"	"		370/40		190	16.8	"
4/4	"	"	"		120/300		"	19.2	"
5/1	5.0	+	230		350/40		200	18.1	L4
5/2	"	"	"		340/55		"	17.9	"
5/3	"	"	"		345/50		"	17.9	"
5/4	"	"	"		180/220		"	19.5	"
6/1	5.0	+	220		450/60		200	13.8	C3
6/2	"	"	"		450/60		"	13.8	"
6/3	"	"	"		350/160		"	13.2	"
7/1	5.0	+	220		340/30		200	18.9	L4
7/2	"	"	"		350/35		"	18.4	"
7/3	"	"	"		370/40		"	17.2	"
7/4	"	"	"		200/280		"	13.6	"
8/1	5.0	+	200		410/60		190	15.0	C3
8/2	"	"	"		390/50		180	16.0	"
8/3	"	"	"		400/45		"	15.8	"
9/1	5.0	+	200		350/80		180	16.4	C3
9/2	"	"	"		355/70		"	16.6	"
9/3	"	"	"		330/70		"	17.7	"
9/4	"	"	"		240/175		200	17.7	"

Q = 60 J/V [KJ/cm]  
V = 1000

Buildup sequence  
s. next page

Manufacturer <i>M. Stuel</i>	Inspection	Inspection 1714
Date welding eng.	Date	Date 20.12.73



CONFAB

NOELL

Record No. 1

Welding Procedure Qualification Test VP - No. 7

Page 3 of 5

Projekt: Containment Angra 2

S.M. 78

Base metal	Trade name	Heat No.	Test No.
Pos. 1	WST E 51	500827	3383
Pos. 2	WST E 51	501407	10017

Sequence	Position	welding process	Electrode / Wire		Flux		Heat No.	Gas
			Trade name	Heat No.	Trade name	Heat No.		
tack welding	W-19	E-MAW	TENACITO CO φ3	068045	-	-	-	-
root welding	"	"	"	"	-	-	-	-
filling - and top layers	"	"	TENACITO φ4 " " φ5	068076 068077	-	-	-	-
arc gouging	"	-	CARBON	-	-	-	-	-
reverse side welding	"	"	TENACITO φ4 " " φ5	068076 068077	-	-	-	-

Number of beads	El./Wire (φ mm)	Current Polarity	J (Amps)	U (Volts)	Speed (cm/min.)	Width of Oscill (mm)	Preheat Temp.	Heat Input (KJ/cm)	welder's stamp No.
					length bead (mm)/stub		Interpass Temp. (°C)		
10/1	5.0	+	200		350/40		200	18.1	L4
10/2	"	"	"		350/40		190	18.1	"
10/3	"	"	"		390/45		"	16.2	"
10/4	"	"	"		160/330		"	18.4	"
11/1	5.0	+	200		400/35		200	16.2	L4
11/2	"	"	"		400/35		"	16.2	"
11/3	"	"	"		390/50		190	16.0	"
12/1	5.0	+	200		500/40		190	13.1	L4
12/2	"	"	"		490/35		"	13.6	"
12/3	"	"	"		180/305		"	13.0	"
13/1	5.0	+	200		520/45		190	12.6	L4
13/2	"	"	"		510/35		"	13.1	"
13/3	"	"	"		140/315		"	15.1	"
14/1	5.0	+	200		430/50		190	14.6	L4
14/2	"	"	"		490/45		"	13.2	"
14/3	"	"	"		240/240		"	14.0	"
15/1	5.0	+	200		370/50		190	16.8	L4
15/2	"	"	"		490/45		"	13.2	"
15/3	"	"	"		440/70		"	13.7	"
16/1	5.0	+	200		390/45		190	16.2	L4
16/2	"	"	"		410/40		"	15.6	"

Q. 69. J. U. [KJ/cm]  
V. 1000

Buildup sequence  
S. next page

Manufacturer MB Steel  
Date \_\_\_\_\_ welding eng.

Inspection \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_

Inspection 20.12.78  
Date \_\_\_\_\_



CONFAB

HOELL

Record no 1

Welding Procedure Qualification Test VP - No. 7

Page 4 of 5

3.11.23

Projekt: Containment Angra 2

Base metal		Trade name		Heat No.		Test No.	
Pos. 1		WSTESI		500327		3383	
Pos. 2		WSTESI		501407		10017	

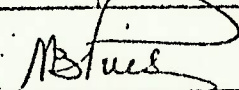
Sequence	Position	welding process	Electrode / Wire		Flux	Gas
			Trade name	Heat No.	Trade name	Heat No.
tack welding	W-19	E-MAW	TENAC 70 CO φ 3	068045	-	-
root welding	"	"	"	"	-	-
filling- and top layers	"	"	TENAC 60 φ 4	068076	-	-
			" φ 5	068077		
arc gouging	"	-	CARBON	-	-	-
reverse side welding	"	"	TENAC 60 φ 4 " φ 5	068076 068077	-	-

Number of beads	El./Wire (β mm)	Current Polarity	J (Amps)	U (Volts)	Speed (cm/min.)	Width of Oscill (mm)	Preheat Temp.	Heat Input (KJ/cm)	welder's stamp No.
					Length bead (mm)/stub		Interpass Temp. (°C)		
16/3	5.0	-	200		360/65		200	16.6	L4
17/1	5.0	+	200		470/60		200	13.4	L4
17/2	"	"	"		490/88		"	12.0	"
17/3	"	"	"		220/240		"	15.0	"
18/1	5.0	+	200		445/40		200	14.5	L4
18/2	"	"	"		500/55		"	12.8	"
18/3	"	"	"		220/255		"	14.1	"
19/1	5.0	+	200		420/35		200	15.5	L4
19/2	"	"	"		470/45		"	13.7	"
19/3	"	"	"		320/190		"	13.1	"
20/1	5.0	+	200		400/60		200	15.3	C3
20/2	"	"	"		430/65		"	14.2	"
20/3	"	"	"		400/140		"	12.6	"
21/1	5.0	+	200		390/45		200	16.2	C3
21/2	"	"	"		390/60		"	15.6	"
21/3	"	"	"		400/40		"	16.0	"
22/1	5.0	+	210		350/60		200	17.2	C3
22/2	"	"	"		340/60		"	17.7	"
22/3	"	"	"		330/60		"	18.1	"
23/1	5.0	+	215		450/70		180	13.5	C3
23/2	"	"	"		470/90		"	12.5	"

Q = 60 x J = U [KJ/cm]  
V = 1000

Buildup sequence  
S. next page

Manufacturer 	Inspection _____	Inspection S. D. TS 1714
Date welding con.	Date _____	Date _____

CONFAB

HOELL

Record No. 1

Welding Procedure Qualification Test WP - No. 7

Page 5 of 5

3.M.78

Projekt: Containment Angra 2

Base metal	Trade name	Heat No.	Test No.
Pos. 1	WSTE 51	500827	3383
Pos. 2	WSTE 51	501407	10017

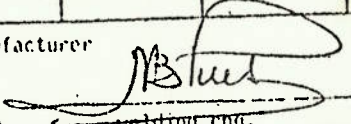

Sequence	Position	welding process	Electrode / Wire		Flux		Gas
			Trade name	Heat No.	Trade name	Heat No.	
tack welding	W-19	E-MAW	TENAC. TCC Ø3	068045	-	-	-
root welding	"	"	"	"	-	-	-
filling - and top layers	"	"	TENAC. CO Ø4 " " Ø5	068076 068077	-	-	-
arc gouging	"	-	CARBON	-	-	-	-
reverse side welding	"	"	TENAC. CO Ø4 " " Ø5	068076 068072	-	-	-

Number of beads	El. / Wire (Ø mm)	Current Polarity	I (Amps)	U (Volts)	Speed (cm/min.)	Width of Oscill (mm)	Preheat Temp.	Heat Input (KJ/cm)	welder's stamp No.
							Interpass Temp. (°C)		
23/3	5.0	+	215		280/220		180	13.2	C3
24/1	5.0	+	215		430/95		190	13.2	C3
24/2	"	"	"		470/80		180	12.7	"
24/3	"	"	"		310/180		"	13.8	"
25/1	5.0	+	215		300/60		180	19.8	C3
25/2	"	"	"		300/65		"	19.8	"
25/3	"	"	"		300/50		"	20.5	"
25/4	"	"	"		290/60		"	20.8	"
26/1	4.0	+	170		265/90		180	20.8	C3
26/2	"	"	"		290/70		"	20.2	"
26/3	"	"	"		250/80		"	23.0	"
26/4	"	"	"		260/85		"	21.6	"
26/5	"	"	"		110/300		"	20.8	"
27/1	5.0	+	205		275/80		180	20.8	C3
27/2	"	"	"		320/70		"	18.4	"
27/3	"	"	"		320/90		"	17.5	"
27/4	"	"	"		255/130		"	19.2	"

Q-602 J-U [KJ/cm]  
V=1000

Buildup sequence  
S. next page

1714

Manufacturer	Inspection	Inspection
Date	Date	Date
		20.12.78 



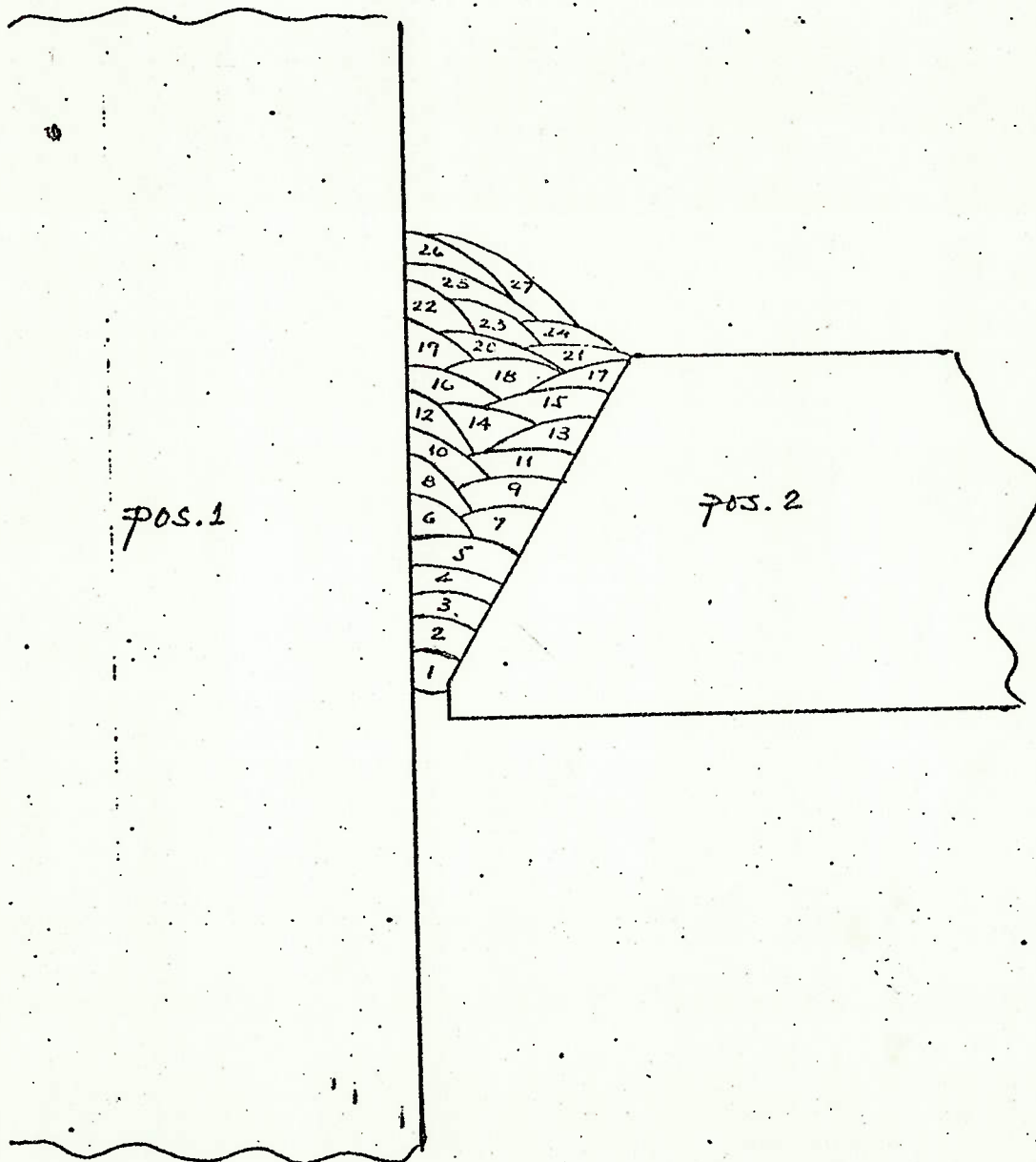
CONFAB  
HOELL

Attachment for:  
Record No. 1  
Welding Procedure Qualification Test VP - No. 7

Page 1  
of 1

Projekt: Containment Angra 2

Buildup sequence



Manufacturer

*Steel*  
welding eng.

Date

Inspection

Date

Inspection

Date

ANEXO 5

PLANO DE AMOSTRAGEM PARA RETIRADA DOS CORPOS DE  
PROVA DE ENSAIOS DESTRUTIVOS. (24)

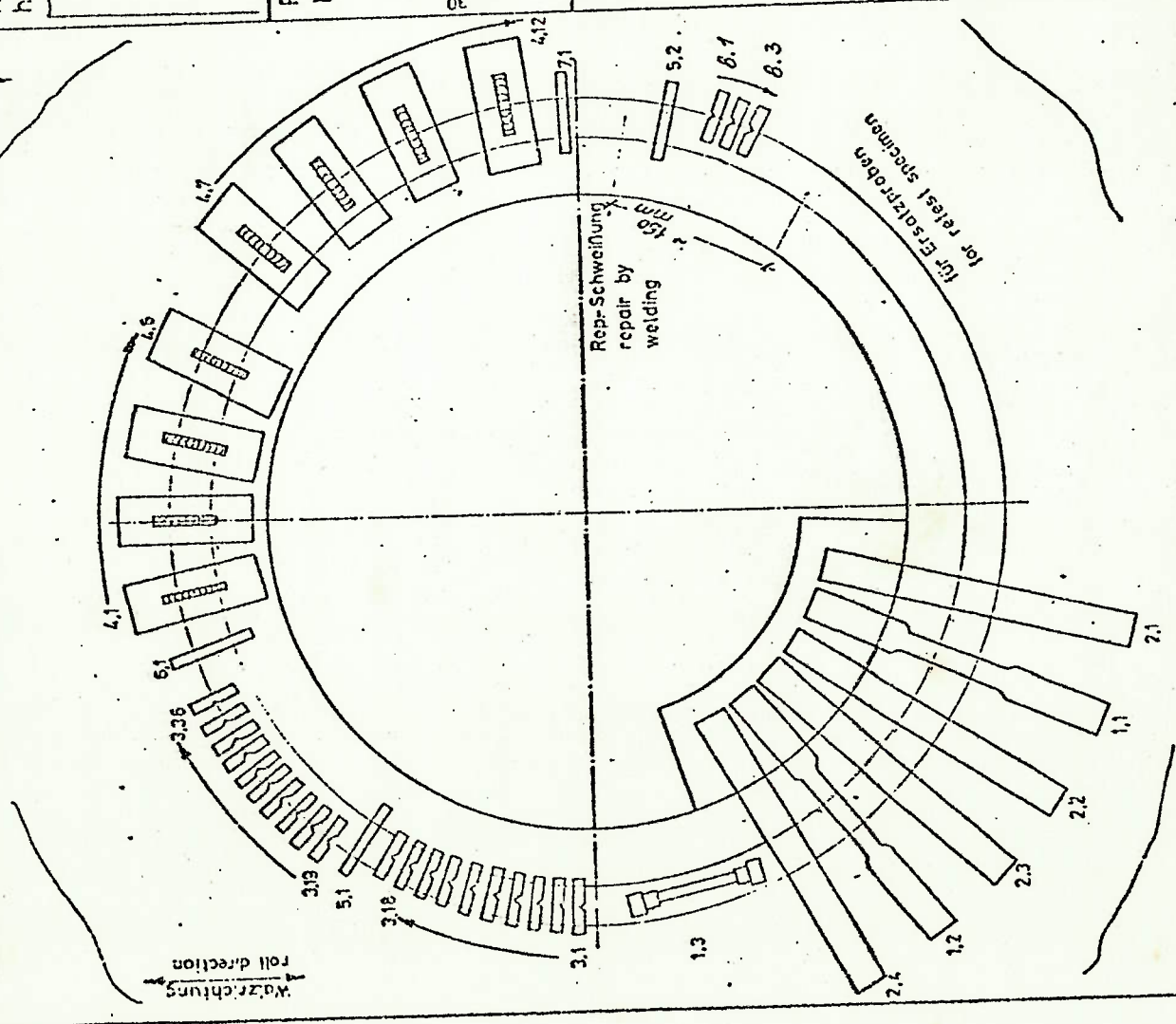
Objekt: KKW Anlag 2  
Strukturteil: Containment  
Auftrag Nr.: 9435  
Projekt No.:

Weinstoßprüf und Faser na  
material testing an ... npling plan WPP  
Verfahrensprüfungen  
procedure test

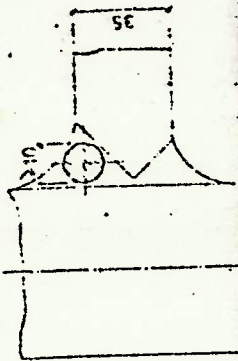
Noell

Seite 7  
page

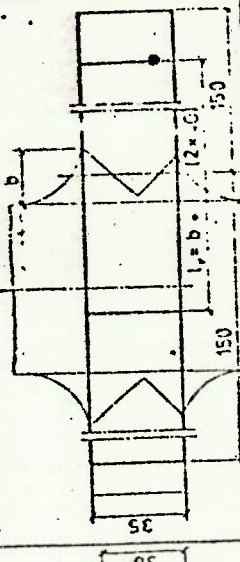
von 11



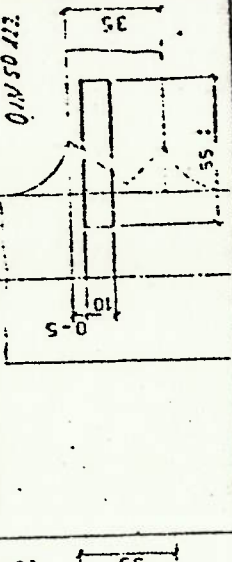
Warmzugprobe DIN 50125 (1.3)  
heat tensile test



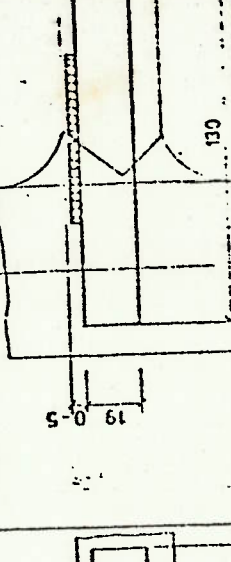
Flachzugprobe DIN 50120 (1.1-1.1)  
tensile test



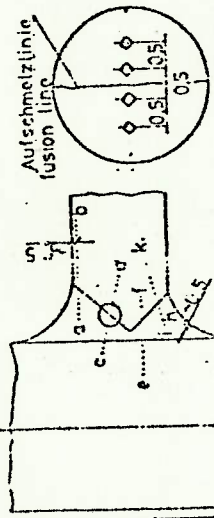
Kbz - Probe Ue DIN 50115 (3.19 3.35) (8.1-8.3)  
notched bar impact test, web, edge  
DIN 50122



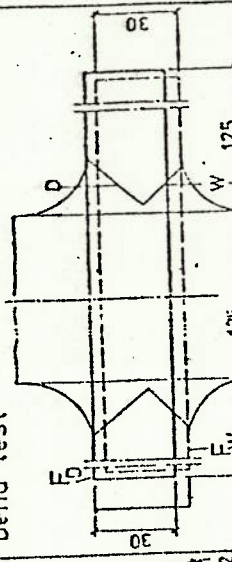
Pellinprobe Ue Spez. RE-L 520 (4.7-4.12)  
Pellini test (NDT) weld edge



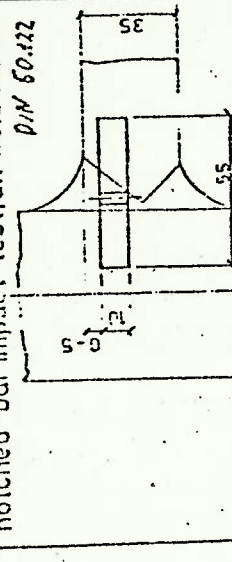
Härteprüfung Spez. RE-L 434 (5.1-5.2)  
hardness test



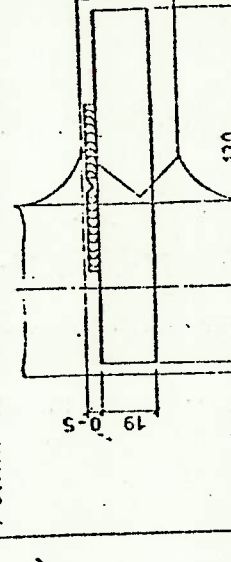
Faltprobe DIN 50121 (2.1-2.4)  
bend test



Kbz - Probe SG DIN 50115 (3.1-3.18)  
notched bar impact test, all weld metal  
DIN 50122



Pellinprobe SG Spez. RE-L 520 (4.1-4.6)  
Pellini test (NDT) all weld metal



Gutachter assessor  
Prüfvermerk  
test note

KWU  
Prüf- und Freigabevermerk  
inspection and release note

Art der Änderung  
type of modification

Hersteller manufacturer  
Hersteller manufacturer

Datum date  
16.5.78  
01

geprüft checked  
genehm. approved

12. Okt. 1978



Lab. Scutell		material testing		sampling plan WPP		Noell		page of						
Auftrag Nr.: 9435		Verfahrensprüfungen		procedure test VP-Nr. 7										
Pos	Schritt-Nr.	Erprobung	Probenlage	Probenkennzeichnung	Prüftemperatur	Vergütungs-zustand	Durchführungs-merk	Zeugnis- oder Protokoll-Nr.	simul. Zustand	Durchführungs-merk	Zeugnis- oder Protokoll-Nr.	Endzustand	Zeugnis- oder Protokoll-Nr.	Bemerkungen
Nr.	sequence No.	testing	sample position	sample marking	test temp	improved condition	execution remark	certificate or report No.	simulated condition	execution remark	certificate or report No.	final condition	certificate or report No.	remarks
						H T K	H T K	H T K	H T K	H T K	H T K	H T K	H T K	
1.1		Flachzugprobe DIN 50120	quer	1.1	RT							X	73-1	
		tensile test (flat)	transversely									X		
1.2		Flachzugprobe DIN 50120	quer	1.2	RT							X	73-1	
		tensile test (flat)	transversely									X		
1.3		Rundzugprobe DIN 50125	SG	1.3	+145°C							X	73-10	
		tensile test (round)	all weld metal									X		
2.1		Faltprobe DIN 50121	quer/Wurzel	2.1	RT							X	73-1	
		bend test	transversely/ root									X		
2.2		Faltprobe DIN 50121	"	2.2	RT							X	73-1	
		bend test	"									X		
2.3		Faltprobe DIN 50121	quer/Decklage	2.3	RT							X	73-1	
		bend test	transversely/top layer									X		
2.4		Faltprobe DIN 50121	"	2.4	RT							X	73-1	
		bend test	"									X		
3.1		Kerbschlagprobe JSO-V	SG - S-Lage	3.1	-20°C							X	I-1	
		notched bar impact test	all weld metal									X		
3.2		"	"	3.2	-20°C							X	I-1	
		"	"									X		
3.3		"	"	3.3	-20°C							X	I-1	
		"	"									X		
3.4		"	"	3.4	±0°C							X	I-1	
		"	"									X		
3.5		"	"	3.5	±0°C							X	I-1	
		"	"									X		
3.6		"	"	3.6	±0°C							X	I-1	
		"	"									X		
3.7		"	"	3.7								X	I-1	
		"	"									X		
3.8		"	"	3.8								X	I-1	
		"	"									X		
3.9		"	"	3.9								X	I-1	
		"	"									X		
3.10		"	"	3.10								X	I-1	
		"	"									X		
3.11		"	"	3.11								X	I-1	
		"	"									X		

Gutachter assessor:  
 Prüfermerk  
 Inspektion und Freigabeurteil  
 12. Okt. 1978

KWU  
 Prüf- und Freigabeurteil  
 Inspektion und Freigabeurteil  
 12. Okt. 1978

Art der Änderung  
 type of modification

Hersteller manufacturer  
 Datum date  
 16.5.78  
 erstellt prepared  
 geprüft checked  
 genehm. approved  
 14.5.78

00  
 01  
 02











Auftrag Nr.: 9435		Erprobung		Probenlage		Proben- kenn- zeich- nung		Vorgütungs- zustand		Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report		simul. Zustand		Durchführungsmerk		Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report		Endzustand		Durchführungsmerk		Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report		Bemer- kungen	
Pos. Nr.	Schritt- Nr.	Erprobung	Probenlage	kenn- zeich- nung	tempo- ratur	Vorgütungs- zustand			Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report			simul. Zustand			Durchführungsmerk			Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report			Bemer- kungen				
						improved condition	H	T	K	execution remark	Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report	H	T	K	execution remark	Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report	H	T	K	execution remark	Zeugnis- oder Protokoll- Nr. certificate or report	H	T	K	execution remark
4.12		NDT - Probe	Ue	4.12	S. page 10																				
5.1		NDT - test	weld edge	5.1	RT																				
5.1		Härteprüfung HV 0,10	quer	5.1	RT																				
5.1		härte test HV 0,10	transversely	5.1	RT																				
5.2		Makroschliff	quer	5.2	RT																				
5.2		macrosection	transversely	5.2	RT																				
5.2		Härteprüfung HV 0,10	"	5.2	RT																				
5.2		hardness test HV 0,10	"	5.2	RT																				
6.1		Makroschliff	"	6.1	RT																				
6.1		macrosection	"	6.1	RT																				
7.1		Mikroschliff	"	7.1	RT																				
7.1		microsection	"	7.1	RT																				
7.1		Chemische Analyse	SG	7.1	—																				
8.1		chemical analysis	all weld metal	8.1	-20°C																				
8.1		Kerbschlagprobe ISO-V	Ue-Reparatur	8.1	-20°C																				
8.1		notched bar impact test	weld repaired	8.1	-20°C																				
8.2		"	"	8.2	-20°C																				
8.2		"	"	8.2	-20°C																				
8.3		"	"	8.3	-20°C																				
8.3		"	"	8.3	-20°C																				

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

Hersteller: Confab Noell

Seite 11 von 11

VP-No 7

Verfahrensprüfungen procedure test

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

material testing sampling plan WPP

ANEXO 6

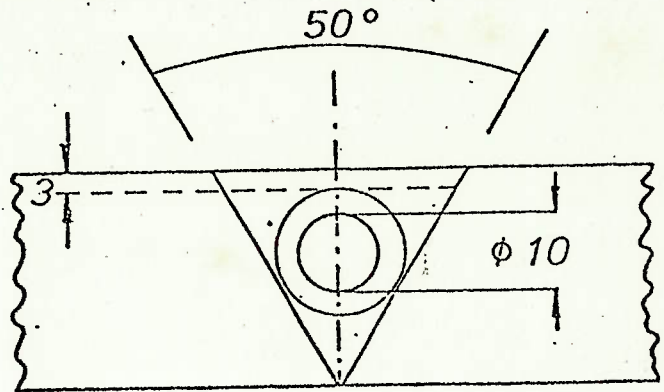
ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA RETIRADA DE CORPOS  
DE PROVA PARA QUALIFICAÇÃO DE ELETRODOS REVESTIDOS. (24)



Certificate B  
DIN 50 049 3.1 B

Annex 1

Specimen for tensile test



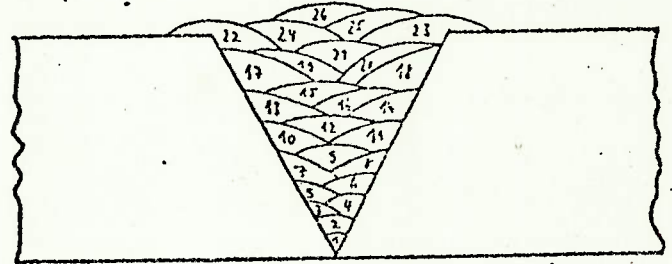
Welding plan and welding parameters

$J = 130 \text{ A} = +$

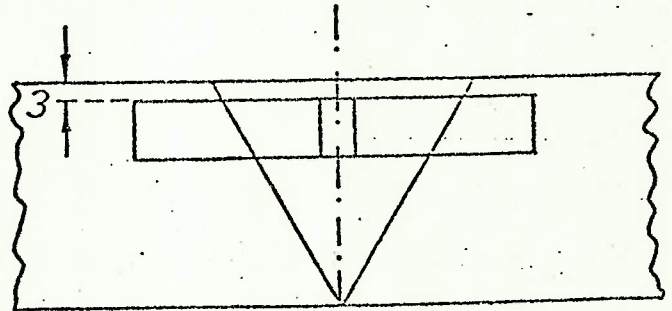
$U = 23 \text{ V}$

Length of Bead: 120 - 130 mm

Rate of Travel: —



Specimen for impact test



Base material: FG 51 W

Charge No.: 419101

Specimen No.: 84848-1

OERLIKON Elektrodenfabrik, Eisenberg  
GmbH

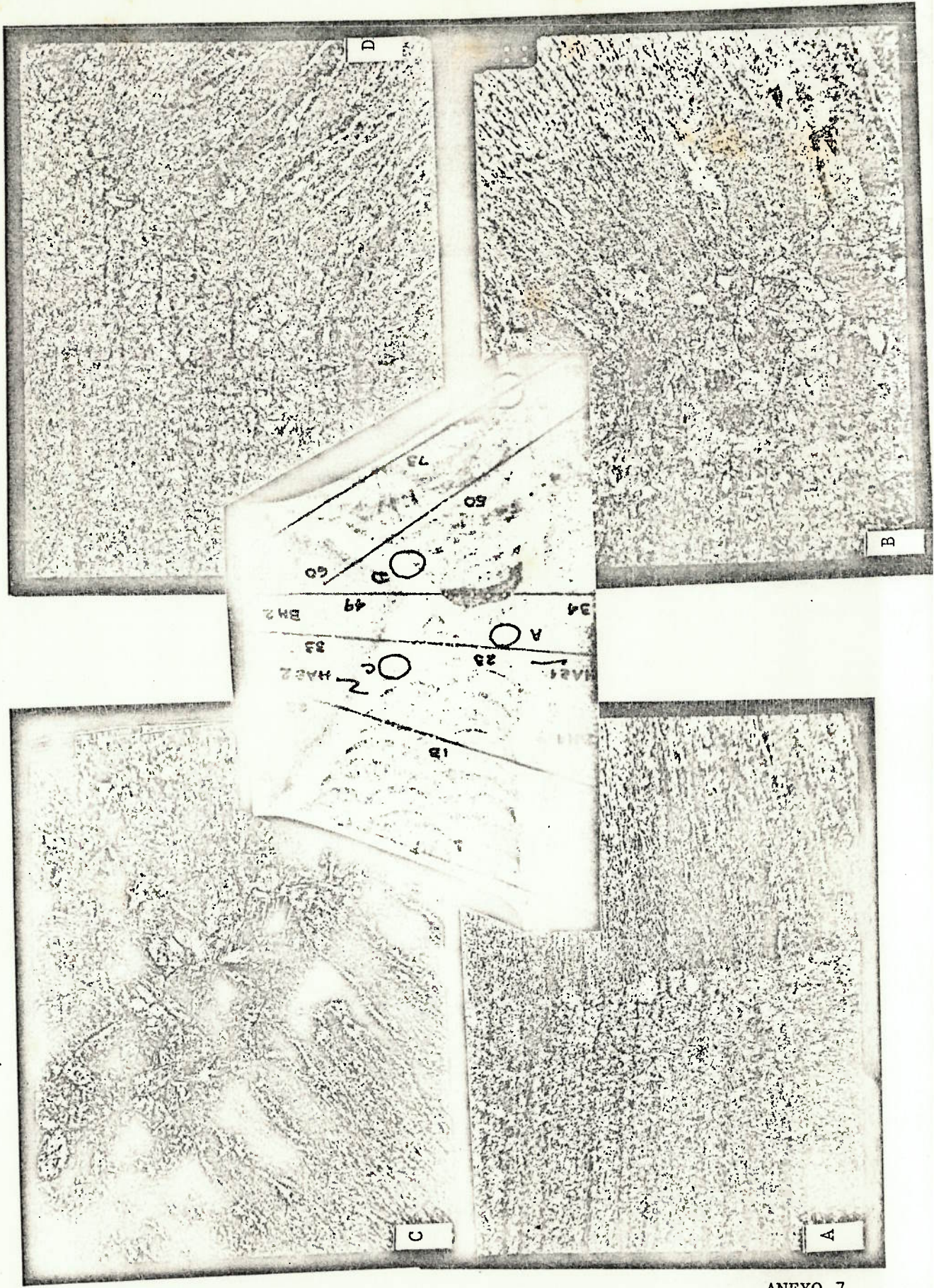
Quality Assurance

Works - Expert

ANEXO 7

CONJUNTO DE MACROGRAFIA E MICROGRAFIA DA  
JUNTA SOLDADA.







ANEXO 8

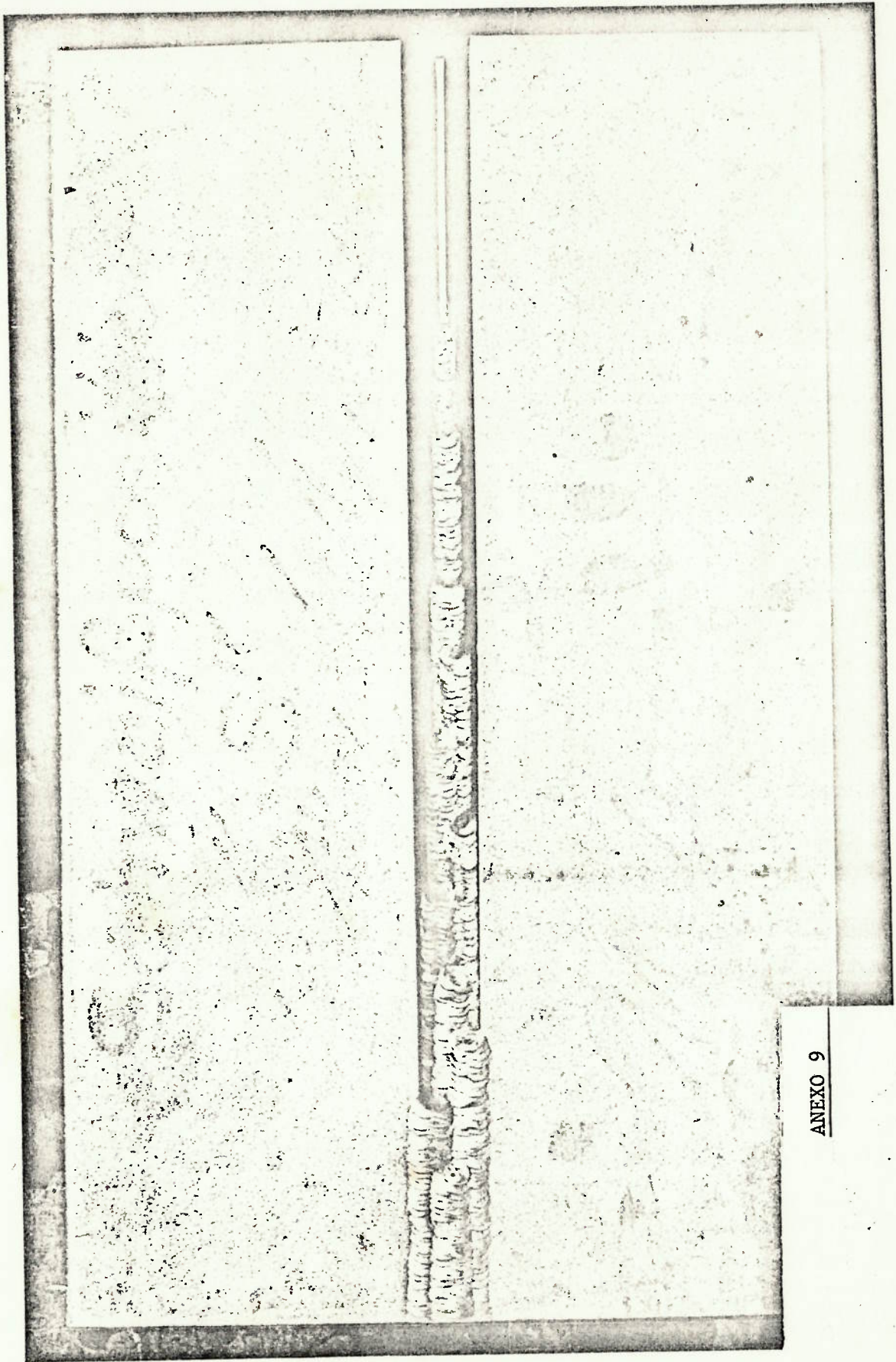
FLUXO DE RECEPÇÃO, ARMAZENAMENTO E USO  
DE ELETRODOS REVESTIDOS. (24)





ANEXO 9

TÉCNICA DE TÉRMINO DE UM PONTO DE SOLDA EM  
VÁRIOS PASSES EM CASCATA. (24)



ANEXO 9



8. BIBLIOGRAFIA :

1. THOMPSON, J.W. Development of Hight Strength Structural Steel. The Journal of Institute of Engineers Australia - JUN/1965.
2. IRVINE, K.J. The Development of Hight Strength Steels - Journal of The Iron Steel Institute - OUT/1962.
3. IRVINE, K.J. Hight Strength Weldables Steels - Metalurgy JUL/1958.
4. ORGRAM, G.R. The Strengthening of Steels by Alloy Additions. Iron and Steel - JUL/AGO/SET/1965.
5. DELBAR, G. et alii. Contribution à l'étude des aciers faiblement alliés à base teneur en carbone. Revue de la Metallurgie - OUT/1965.
6. IRVINE, K.J. and PICKERING, F.B., Low Carbon Steels with Ferrite, Perlite Structure. Journal of The Iron and Steel Institute. NOV/1965.
7. GREADDAY, T. et LUTTS, A. Aciers à Despersoides pour la Construction Metallique. Revue de le Centre Nationale de la Recherche des Metaux n.8 - SET/1966.
8. MANENG, J. et alii. Considération Générales sur les Aciers Soudables à Haute et Très Haute Résistance. Revue Mecanique - Electricité n.226 - OUT/1968.
9. ROUSSEAU, P., Aciers a Haute Limite d'élasticité. Revue Chaudnoverie Tolerie - OUT/1972.



10. DUCKWORTH, W.E. Metallurgy of Structural Steels: Present and Future Possibilities . Iron and Steel Institute - Special Report - page 104.
11. LESSELS, J. and SINCLAIR, J. - Advantages and Economies of Quenched and Tempered Weldable Steels. Journal of The Iron and Steel Institute - MAR/1967.
12. LIEGEOIS, J. - Considerations Pratiques sur le Soudage et la Soudabilité des Aciers Microallies a Haute Limite d'Elasticité. Documento não publicado do Centro de Soldagem do Departamento Metalúrgico da Usinor - França - OUT/1979.
13. TANIGUCHI, Celio. - Princípios de Engenharia de Soldagem. - Departamento de Engenharia Naval PNV 741
14. DET NORSKE VERITAS. Rules for The Design Construction and Inspection of Offshore Structures. MAI/1977.
15. GRANJON, H. - Documento IX 1042-77 do Instituto Internacional de Soldagem. MAR/1977.
16. NF A 36 000. Recommendation sur L'aptitude de Construction Metallique et pour Chaudières et Appareils à Pression. AFNOR JUN/79.
17. SUZUKI, H. - Les Nouveaux Aciers Japonais à Haute Resistance utilisé pour les Constructions Soudées de Grandes Dimensions. Revue Soudage et Techniques Connexes. - ABR/77.
18. GRANJON, H. - Introdução à Metalurgia da Soldagem. Apostila de Soldagem da Associação Brasileira de Metais 139ed. 1979.
19. GRANJON, H. - Documento IX 748-71 do Instituto Internacional de Soldagem. MAR/1971.

20. NAKAMURA, H. - Relation between Stresses Relief Cracking and Metalurgical Properties of Low Steels. First National Conference on Fracture Vol.2 - pages 863-873 - 1975.
21. GRANJON, H. Resultats obtenus et Nouvelles Possibilités Offerts pour la Methode des Implants pour l'etude de la Soudabilité des Aciers. Revue Soudage et Techniques Connexes n.3/4 - ABR/1968.
22. COE, F.R. - Welding Steels without Hydrogene Cracking. The Welding Institute 1973.
23. GRANJON, H. - Introduction et la Soudabilité des Aciers. Notas de aula, curso ESSA, Paris 1977.
24. CONFAB: Documentos de Soldagem e de Garantia da Qualidade Nuclear.
25. RE-L 520
26. RE-L 1134

