

3

Dimensionamento Clássico de Cordões de Solda

A união de placas em uma estrutura é conhecida como junta. Uma junta pode ser obtida utilizando-se os mais variados elementos de fixação: parafusos, rebites, engates, cordões de solda, etc. Dentre estas, a soldagem é uma das mais utilizadas por sua facilidade de utilização, confiabilidade e custo.

A soldagem como processo de montagem está relacionada ao conhecimento tecnológico envolvido, e depende para a sua utilização de conhecimentos básicos das ciências como a física, química, a eletricidade e a eletrônica. Os avanços recentes na metalurgia permitem que aplicações mais arrojadas de engenharia, requerendo o emprego de técnicas e materiais que sejam compatíveis com as novas ligas recentemente criadas, possam ser empregadas. A soldagem é um processo de montagem que vem despertando grande importância, e um avanço significativo nas últimas décadas. A AWS (American Welding Society) [11], define como processo de soldagem o procedimento de união de materiais usado para obter coalescência localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição. A vantagem do processo de soldagem em relação a demais processos correntes na engenharia está na possibilidade de se obter uma união em que os materiais apresentam continuidade não só na aparência externa, mas também nas suas características e propriedades mecânicas e químicas, relacionadas à sua estrutura interna.

Apesar da vasta utilização da soldagem, o dimensionamento de juntas soldadas se baseia, na prática, em simplificações impostas pela grande variedade de arranjos geométricos e combinação de esforços, tornando impraticável (ou impossível) a obtenção de soluções baseadas na teoria da elasticidade. Com isso, as técnicas de dimensionamento mais comuns baseiam-se na obtenção das tensões nominais atuantes no cordão de solda a partir de carregamentos externos conhecidos [1-10].

O presente trabalho se propõe a apresentar uma alternativa a estas limitações utilizando resultados das tensões nas regiões próximas às juntas, obtidos a partir do método dos elementos finitos. A metodologia proposta se baseia na obtenção dos esforços efetivos, obtidos da integração das tensões ao longo das seções adjacentes das chapas que compõem a junta. Espera-se com isso, possibilitar a redução da quantidade de eletrodo necessária para a construção de uma determinada estrutura soldada submetida a esforços estáticos.

Neste capítulo descrevem-se, inicialmente, os processos de soldagem, os tipos de cordão de solda e, ainda, os fenômenos metalúrgicos associados aos processos de soldagem. Em seguida, é apresentada a metodologia clássica de dimensionamento de cordões de solda a partir do esforço total na junta.

3.1. Processos de Soldagem e Tipos de Cordão de Solda

De um modo geral a soldagem é classificada em dois grupos, de acordo com o procedimento utilizado: soldagem por fusão e soldagem por pressão. Na Tabela 3.1 estão apresentados os diversos processos de cada grupo:

Grupo	Processos de Soldagem
Soldagem por fusão	<ul style="list-style-type: none"> • Por chama • Por arco • Em banho de escória • Alumino térmica • Bombardeamento eletrônico • Raio laser • Por plasma
Soldagem por pressão	<ul style="list-style-type: none"> • Por forja • Por resistência elétrica • Por indução • Por ultra-som • Por atrito

Tabela 3.1 – Grupos de Procedimentos e Processos de soldagem

Os processos de soldagem por fusão se caracterizam pela ocorrência da fusão dos materiais de base e/ou de adição a fim de possibilitar uma solubilização entre os

mesmos. Na maioria destes processos há a necessidade de adicionar-se um material à junta, de forma a completar a união: o material de adição.

Nos processos de soldagem por pressão as partes a serem soldadas são postas em contato direto, sem material de adição, enquanto é fornecida energia para que seja realizada a solubilização dos metais ainda no estado sólido.

Relativamente ao tipo de junta, podemos classificá-las em: de topo, de canto, em T, sobreposta e de aresta, e representadas abaixo, na Figura 3.1. Estas uniões podem ser executadas através de três tipos de soldas: solda de topo, de filete e de enchimento.

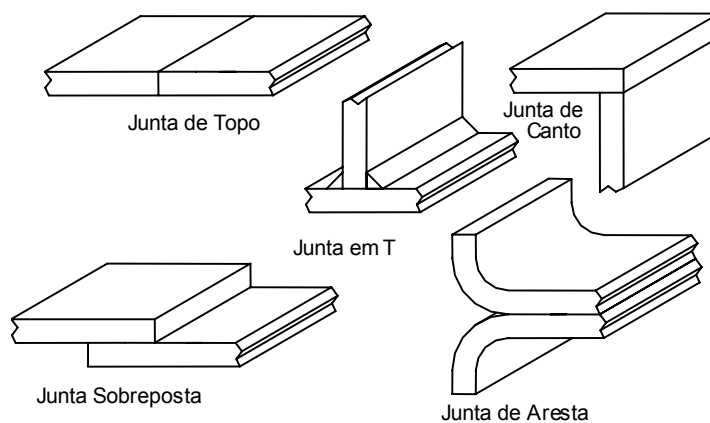


Figura 3.1 - Juntas de topo, de canto, em T, de contorno e de extremidade

Diversos são os fatores que influenciam a escolha do processo de soldagem adequado a uma determinada situação: os elementos a unir e o tipo de junta, a posição da solda, a produção necessária, as propriedades mecânicas e a composição do material de base, e o grau de automatização necessário.

Apesar de existirem diversos processos para a obtenção de uma junta soldada e da variedade de fatores que influenciam na sua escolha, é possível destacar a união de juntas através da fusão de material de adição com o material de base como um dos métodos mais utilizados na indústria em geral, pela sua praticidade e versatilidade.

No dimensionamento do cordão de solda necessário à fixação de uma junta, deve-se levar em consideração vários aspectos como: o nível de solicitação dos esforços, o processo de fixação, o grau de dificuldade da operação, a proporção geométrica entre cordão e componentes soldados, além do custo envolvido.

3.2. Efeitos dos Fenômenos Metalúrgicos e Térmicos nos Processos de Soldagem por Fusão

Existem essencialmente dois fenômenos metalúrgicos inerentes aos processos de soldagem por fusão: a solidificação do material que atingiu a fusão durante os passes de solda e o tratamento térmico do metal de base ao redor do cordão. A soldagem é caracterizada pela fusão de uma massa de metal que rapidamente se resfria devido à absorção de calor pelas chapas da união. Isto significa que ocorrem ciclos térmicos com uma elevada taxa de resfriamento que produz zonas de material com alta dureza, especialmente próximas à solda. Estas zonas de elevada dureza no metal de base - também conhecidas como zonas termicamente ativadas -, assim como a presença de tensões durante o processo de aquecimento e resfriamento da soldagem (afetadas também pelas transformações de fase) e a presença de tensões residuais no final do processo podem provocar o aparecimento de trinca à frio, como pode ser observado na Figura 3.2 (a).

Para prevenir-se a ocorrência deste problema, o ciclo térmico deve ser atenuado através do pré-aquecimento apropriado das partes a serem soldadas com utilização de eletrodos de materiais essencialmente básicos. Estas precauções são fortemente recomendadas sempre que metais de elevada resistência ao escoamento são soldados, porque áreas de alta dureza podem se formar com facilidade.

Outro fenômeno indesejável é a formação de trincas à quente, que podem ocorrer no metal fundido sempre que a quantidade de metal de solda for elevada. Estas trincas são formadas durante a solidificação, quando ocorre uma segregação de impurezas em zonas preferenciais da área fundida. Estas regiões se solidificam a temperaturas mais baixas do que o aço, provocando entalhes na região devido às tensões de encolhimento, como mostrado na Figura 3.2 (b).

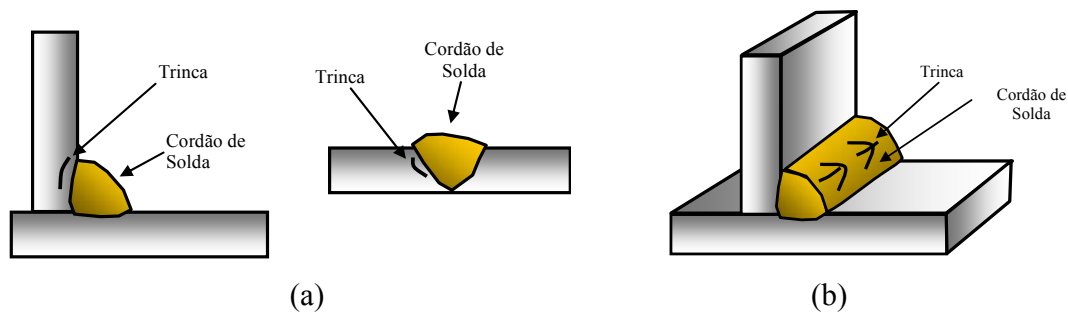


Figura 3.2 – Formação de Trincas Nas Juntas Soldadas: (a) À Frio; (b) À Quente

As características mecânicas do material fundido têm uma estreita relação com sua microestrutura, em especial a tenacidade. Quando a soldagem é realizada por meio de poucos passes com grandes volumes de depósito de eletrodo, a recristalização é grosseira e a tenacidade baixa. Isto pode ser corrigido utilizando-se pós-reativos especiais. No entanto, se o processo de soldagem é realizado em diversos passes de seção reduzida, obtém-se uma tenacidade mais elevada, em parte devido à normalização que cada passe nas camadas mais externas produz nos passes anteriores.

Processos de soldagem sempre geram uma elevada quantidade de calor que pode causar deformações termoplásticas consideráveis nos elementos de uma junta, tais como deformações ou tensões residuais. Tensões residuais na soldagem são definidas como as tensões que existem nas junções soldadas sem a atuação de forças e momentos externos e que se formam durante o processo de soldagem e resfriamento, como conseqüência de deformações temporárias na região afetada pelo calor e material de base [16].

Neste cenário, propício ao aparecimento de trincas na região das juntas, é natural que grande parte dos estudos relacionados ao seu dimensionamento se baseie na previsão da vida à fadiga dos componentes soldados. A fadiga é o tipo de falha mecânica caracterizada pela geração e/ou propagação de uma trinca, causada primariamente pela aplicação repetida de carregamentos variáveis sobre a peça [21].

Este trabalho, porém, se concentra no dimensionamento de juntas soldadas submetidas a carregamentos estáticos. É importante notar, que quando se faz uma verificação à fadiga de juntas soldadas, supõe-se que estas foram corretamente

dimensionadas para suportar as solicitações máximas aplicadas em condições estáticas, seguindo as regras de cálculo apresentadas a seguir.

A análise de tensões no cordão de solda é o método predominante quando ocorre transferência de carga entre os elementos da junta. Porém, as juntas podem ter formas e orientações variadas de acordo com as solicitações, tornando esta análise complexa. Devido ao elevado grau de incertezas quanto aos estados de tensões reais ao longo do cordão, diversas simplificações são propostas a fim de se obter um modelo prático de cálculo [1]:

- Somente tensões nominais devido às cargas externas são consideradas. A influência de tensões residuais inerentes ao processo e o efeito de concentração de tensões na própria junta são desprezados;
- As soldas são homogêneas, isotrópicas e elásticas;
- As partes conectadas pelas soldas são rígidas e suas deformações nas interfaces entre as chapas são desprezadas.

A verificação da resistência de juntas soldadas é basicamente dividida em dois grupos: juntas executadas através de soldas de filete e de soldas de topo. A metodologia clássica utilizada no dimensionamento de ambos os tipos de junta será apresentada nas próximas seções.

3.3. Resistência de Soldas de Topo

As soldas de topo são executadas quando ambas as peças a serem ligadas estão no mesmo plano, sendo utilizadas em juntas de topo; ou em juntas em “T” com penetração. Estas consistem na deposição do metal de solda em chanfros previamente preparados com o objetivo de formar uma ligação contínua entre as partes ligadas. Dependendo da espessura da chapa a solda de topo pode ser feita sem chanfros. No caso de juntas com penetração total, a espessura do cordão é dada pela espessura das chapas da união, sendo sua resistência igual à da chapa menos resistente [4],[11],[17]. Portanto, nestes casos não se considera o problema do dimensionamento da soldadura, uma vez que as tensões em jogo serão as tensões existentes no componente em causa.

No caso de juntas de penetração parcial, o cálculo é baseado na seção resistente da junta, de maneira análoga ao dimensionamento de cordões de filete, como mostrado na seção a seguir. Em diversos códigos de construção o uso de cordões topo a topo com penetração parcial não é recomendado, mesmo em juntas solicitadas estaticamente, porque pode dar origem a problemas de fissuração durante o processo de fabricação, ou aumentar o risco de ruptura em serviço [4], [17].

3.4. Resistência de Soldas de Filete

A fim de tornar possível uma metodologia para o dimensionamento do cordão de solda são necessárias diversas simplificações quanto ao estado de tensões a ser considerado. A maioria dos métodos correntes considera que, a partir de cargas externas conhecidas, as tensões são uniformemente distribuídas ao longo da seção da garganta do cordão. Entende-se como garganta, a seção definida pela altura do maior triângulo inscrito na seção transversal do cordão. A Figura 3.3 mostra uma junta em T unida por cordões de filete juntamente com a representação da garganta.

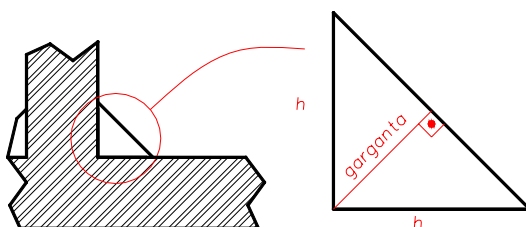


Figura 3.3 – Representação da garganta do cordão em juntas T, com cordão de filete

Em um processo otimizado, a escolha da geometria adequada para o cordão é fundamental. Considerando-se a seção transversal do cordão de solda em filete, em que as pernas vertical e horizontal são h_1 e h_2 , respectivamente, como mostrado na Figura 3.4, tem-se a garganta do cordão e , avaliada pela distância que varia com o ângulo ϕ , sempre perpendicular à face.

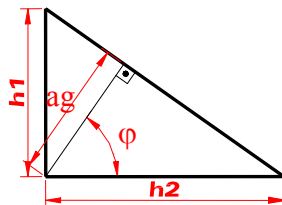


Figura 3.4 – Seção transversal do cordão de solda

Assim, define-se a relação (h_1/h_2) que minimiza o volume de cordão para uma mesma seção resistente. Neste caso a equação do volume de cordão de solda é dada por:

$$V = \frac{h_1 \cdot h_2}{2} \cdot L \quad (3.1)$$

onde L é o comprimento do cordão de solda. Os comprimentos das pernas podem ser obtidos de:

$$h_1 = \frac{ag}{\cos \varphi} \quad \therefore \quad h_2 = \frac{ag}{\sin \varphi} \quad (3.2)$$

Substituindo (3.2) em (3.1), resulta:

$$V = \frac{ag^2}{2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi} \cdot L = \frac{ag^2 \cdot L}{\sin(2\varphi)} = \frac{ag^2 \cdot L}{2 \cdot \tan \varphi} (1 + \tan^2 \varphi) \quad (3.3)$$

Notando-se que:

$$\tan \varphi = \frac{h_1}{h_2} = \xi \quad (3.4)$$

Temos que:

$$\frac{dV}{d\xi} = \frac{ag^2 \cdot L}{2} \left(\frac{2 \cdot \xi^2 - 1 - \xi^2}{\xi^2} \right) = 0 \Rightarrow \xi = 1 \quad (3.5)$$

Assim, verifica-se que o menor volume de solda, para um valor fixo de altura da garganta e do comprimento L da solda ocorre para a solda com pernas iguais. Esta evidência pode ser observada da Figura 3.5:

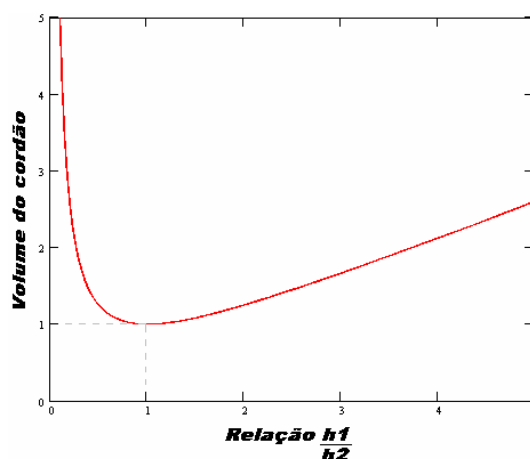


Figura 3.5 - Relação entre o volume de cordão em relação a razão h_1/h_2 para uma seção resistente constante

A “International Institute of Welding” (IIW) [12] considera que a seção da garganta é a seção resistente do cordão de solda. Assume-se que as tensões ao longo da altura da garganta são uniformemente distribuídas. Uma segunda simplificação importante corresponde à condição de que as tensões normais no plano normal ao eixo longitudinal ao cordão são aqui consideradas desprezíveis, porque estas são geralmente provocadas, com maior intensidade, por carregamentos a serem resistidos em conjunto pelas chapas que formam a junta e pelos cordões de solda.

Assim pode-se, de uma maneira geral, definir as tensões nominais incidentes na região da garganta, utilizadas para o dimensionamento de cordões de solda, como mostrado na Figura 3.6. As seguintes componentes de tensão são consideradas:

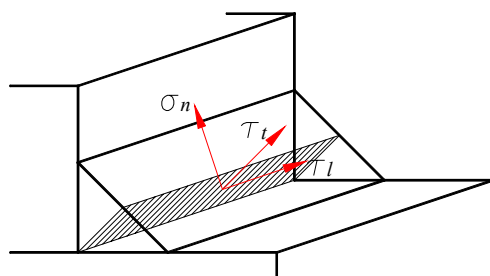


Figura 3.6 – Tensões nominais atuantes na seção da garganta do cordão solda

- σ_n – tensão normal atuando perpendicularmente à seção da garganta;
- τ_t – tensão cisalhante atuando transversalmente à seção da garganta;
- τ_l – tensão cisalhante atuando longitudinalmente à seção da garganta.

Na seção a seguir, são apresentados critérios de resistência para o dimensionamento de cordões de filete a partir das componentes de tensão descritas acima.

3.5. Critérios de Resistência para o Dimensionamento de Cordões de Filete

Critérios de resistência são desenvolvidos com o objetivo de relacionar as propriedades de resistência dos materiais que compõem a junta com as componentes de tensão obtidas no plano da garganta da solda, resultantes da solicitação externa à junta. Em geral as tensões admissíveis são calculadas a partir das tensões de escoamento ou de ruptura do material base. A fórmula proposta para o cálculo da tensão equivalente é uma fórmula empírica baseada em resultados experimentais, com corpos de prova que representam cordões de filete submetidos a diversos tipos de solicitações. Verificou-se experimentalmente que tensões combinadas em soldas de filete podem ser representadas, aproximadamente, por um elipsóide no espaço σ_n , τ_t e τ_l . A Figura 3.7(a) representa o diagrama de Van der Eb [8], [12], obtido de testes experimentais. Este indica a região no plano das tensões σ_n e τ_t que corresponde ao início da ruptura, quando submete-se a seção da garganta à esforços transversais e/ou normais.

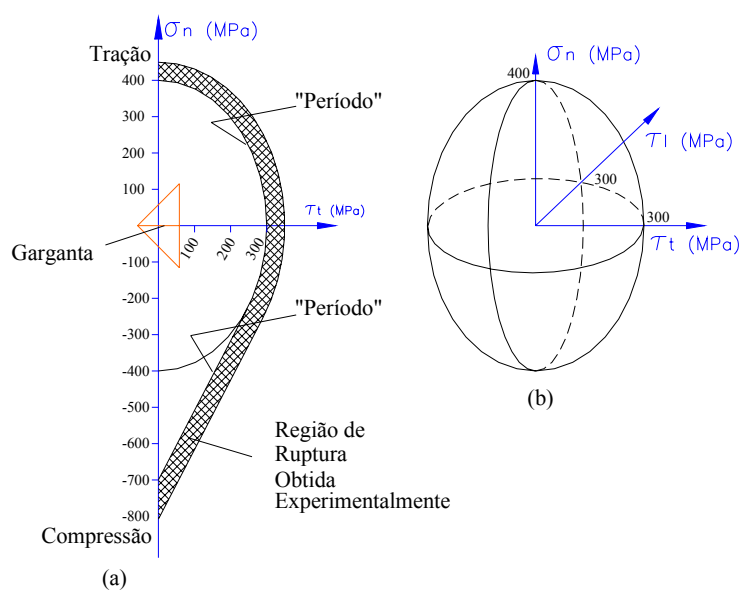


Figura 3.7 – Elipsóide de Van der Eb representando a tensão equivalente (a) no plano; (b) no espaço

Diversos códigos recomendam um método baseado na resistência do metal de base [11],[12],[17]. A equação proposta para a representação do estado plano é representada por uma elipse ajustada de acordo com os resultados obtidos por Van Der Eb na forma:

$$1 = \frac{\sigma_n^2}{S_{rs}^2} + \frac{\tau_t^2}{(0,75 \cdot S_{rs})^2} \quad (3.6)$$

Na equação (3.6) a tensão de ruptura S_{rs} do cordão de solda é expressa como função das tensões admissíveis ao metal de base. Este valor corresponde à tensão de escoamento do material quando cálculo é feito com base num critério de estado limite. Assim se S_c é a tensão admissível do material base, no caso do cálculo ser baseado num critério de tensões admissíveis tem-se que:

$$S_{rs} = \frac{1}{\beta} \cdot S_c \quad (3.7)$$

onde o parâmetro β , coeficiente de redução, é considerado como um fator de eficiência da junta. Para o caso dos aços, são recomendados os valores constantes da Tabela 3.2 [4]:

$\beta = 0,7$	$\sigma_{\text{escoamento}} \leq 240 \text{ MPa}$
$\beta = 0,8$	$240 \text{ MPa} < \sigma_{\text{escoamento}} \leq 280 \text{ MPa}$
$\beta = 0,85$	$280 \text{ MPa} < \sigma_{\text{escoamento}} \leq 340 \text{ MPa}$
$\beta = 1,0$	$\sigma_{\text{escoamento}} > 340 \text{ MPa}$

Tabela 3.2 – Valores para o coeficiente de eficiência da junta

Esta equação que permite a caracterização de estados multiaxiais de tensões aceitáveis para valores genéricos de σ_t , τ_t e τ_l é obtida, por extensão, a partir da equação da superfície elipsoidal resultado do giro desta elipse em torno de seu eixo principal (σ_n), como mostrado na Figura 3.7(b). Assim, a equação da elipsóide de revolução é dada por:

$$1 = \frac{\sigma_n^2}{S_{rs}^2} + \frac{\tau_t^2}{(0,75 \cdot S_{rs})^2} + \frac{\tau_l^2}{(0,75 \cdot S_{rs})^2} \quad (3.8)$$

Sendo $(1/0,75^2) \cong 1,8$, pode-se estabelecer para a condição acima:

$$\sqrt{\sigma_n^2 + 1,8(\tau_t^2 + \tau_l^2)} \leq S_{rs} \quad (3.9)$$

Do ponto de vista formal é conveniente que as condições de verificação sejam expressas de maneira análoga ao do metal base. Com este propósito o termo do lado esquerdo na equação (3.9), descrito como o valor de uma tensão equivalente, resulta

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_n^2 + 1,8(\tau_t^2 + \tau_l^2)} \quad (3.10)$$

enquanto o termo à direita representa o valor de resistência à ruptura do material do cordão de solda. Este depende da qualidade do eletrodo, que deve ser escolhido de acordo com o tipo de material das partes a serem unidas.

Assim, a expressão geral para a verificação da junta pode ser escrita, segundo a norma ISO, na forma:

$$\sqrt{\sigma_n^2 + k_w(\tau_t^2 + \tau_l^2)} \leq \frac{1}{\beta} \cdot S_c \quad (3.11)$$

onde k_w é um valor a ser fixado, de acordo com o coeficiente de segurança desejado para o cisalhamento. Alguns códigos adotam para k_w o valor 3, com o objetivo de manter, também para os cordões de solda, o critério de von-Mises que geralmente é utilizado para o metal de base.

A metodologia clássica para o dimensionamento de cordões de solda baseia-se na determinação do esforço total da junta, conforme mostrado na seção a seguir. Para que o estado de tensões na seção da garganta da solda seja determinado é necessário que os esforços incidentes na junta sejam conhecidos. Nem sempre estes são disponíveis, limitando o escopo de utilização da metodologia clássica. No Capítulo 4, propõe-se uma metodologia que apresenta subsídios necessários para o dimensionamento de cordões a partir da análise de tensões nas chapas nas regiões adjacentes à junta soldada.

3.6. Método baseado no esforço total da junta

O método baseado no esforço total da junta é o mais utilizado do ponto de vista de engenharia, porque relaciona as cargas incidentes e as tensões admissíveis dos materiais de base da junta com a dimensão do cordão. Na literatura são disponibilizadas diversas relações para o dimensionamento de acordo com os principais casos de carregamento e geometria dos cordões: juntas submetidas a

esforços normais; juntas submetidas a esforços cisalhantes; juntas submetidas a momentos fletores.

A seguir, para cada uma destas situações, são obtidas as relações correspondentes para a determinação da altura mínima do cordão com o objetivo de atender critérios de resistência recomendados.

3.6.1. Juntas submetidas a esforços normais

Os cordões de solda de uma junta T, em que a chapa da alma é submetida a carregamento axial, como mostrado na Figura 3.8, são uniões em que o dimensionamento é feito estabelecendo-se as equações de equilíbrio para a junta.

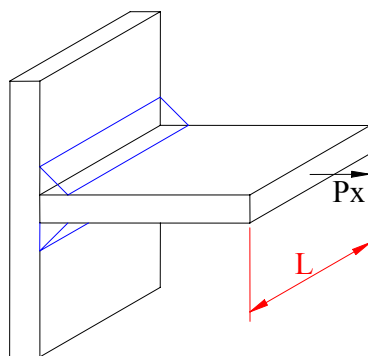


Figura 3.8 - Junta T com a chapa de topo carregada axialmente

Desta forma os esforços de reação na seção da garganta da solda são obtidos, admitindo-se ser o carregamento uniformemente distribuído ao longo do cordão. O diagrama de corpo livre da junta está mostrado na Figura 3.9.

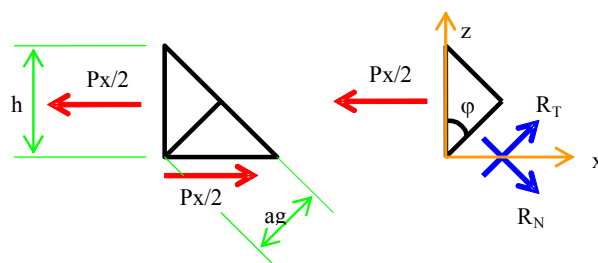


Figura 3.9 – Diagrama de Corpo Livre do Cordão de Solda

As condições de equilíbrio aos esforços nos eixos x e z fornecem:

$$\Sigma F_x = 0 \therefore R_T \cdot \cos(\varphi) + R_N \cdot \sin(\varphi) = \frac{P_x}{2} \quad (3.12)$$

$$\Sigma F_z = 0 \therefore R_T \cdot \sin(\varphi) - R_N \cdot \cos(\varphi) = 0 \quad (3.13)$$

Para $\varphi = 45^\circ$ em (3.12) e (3.13), obtém-se:

$$R_T = R_N = R = \frac{P_x \sqrt{2}}{4} \quad (3.14)$$

As tensões no plano da garganta são obtidas a partir dos esforços normal e transversal calculados acima. Estas tensões, descritas em função da altura h do cordão (utilizando a relação $ag = h\sqrt{2}/2$), resulta em:

$$\sigma_n = \frac{R_N}{L \cdot ag} = \frac{P_x}{2 \cdot h \cdot L} \quad (3.15)$$

$$\tau_t = \frac{R_T}{L \cdot ag} = \frac{P_x}{2 \cdot h \cdot L} \quad (3.16)$$

Da fórmula geral à equação (3.11), com o fator k_w igual a 3 - correspondente ao critério de von Mises - tem-se que:

$$S_y = \sqrt{\sigma_n^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \cdot \beta \cdot CS = \sqrt{4 \cdot \left(\frac{P_x}{2 \cdot h \cdot L} \right)^2} \cdot \beta \cdot CS \quad (3.17)$$

onde CS representa o coeficiente de segurança adotado.

Assim, a altura do cordão de solda para uma junta T, em função de um esforço axial aplicado na chapa de topo, é obtida:

$$h = \frac{P_x \cdot \beta \cdot CS}{L \cdot S_y} \quad (3.18)$$

3.6.2. Juntas submetidas a esforços cisalhantes

Considerando-se agora a junta submetida a esforços paralelos à direção do cordão, o seguinte diagrama de corpo livre é obtido, conforme mostrado na Figura 3.10

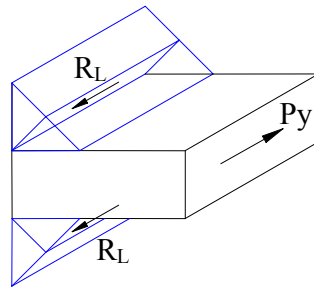


Figura 3.10 - Diagrama de Corpo Livre do Cordão de Solda

Como na situação à Figura 3.8 admite-se que os esforços são igualmente distribuídos nos dois cordões, e a tensão cisalhante na seção da garganta é, portanto,

$$\tau_1 = \frac{R_L}{L \cdot ag} \quad (3.19)$$

Com $R_L = Py/2$, e $ag = h\sqrt{2}/2$, temos que

$$\tau_1 = \frac{Py}{L \cdot h \cdot \sqrt{2}} \quad (3.20)$$

e a tensão equivalente é obtida na forma:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{3 \cdot \left(\frac{Py}{L \cdot h \cdot \sqrt{2}} \right)^2} \cdot \beta \cdot CS = \sqrt{3} \cdot \beta \cdot CS \cdot \frac{Py}{L \cdot h \cdot \sqrt{2}} \quad (3.21)$$

que permite obter a altura do cordão dada por:

$$h = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{Py \cdot \beta \cdot CS}{L \cdot Sy} \quad (3.22)$$

3.6.3. Juntas submetidas a momentos fletores

Finalmente, considerando-se a junta submetida ao momento fletor, mostrada na Figura 3.11, juntamente com o diagrama de corpo livre. Admitindo-se a altura do cordão de solda desprezível em relação à espessura da chapa, consideram-se as distâncias entre os vetores de reação nas faces verticais do cordão iguais à espessura da chapa.

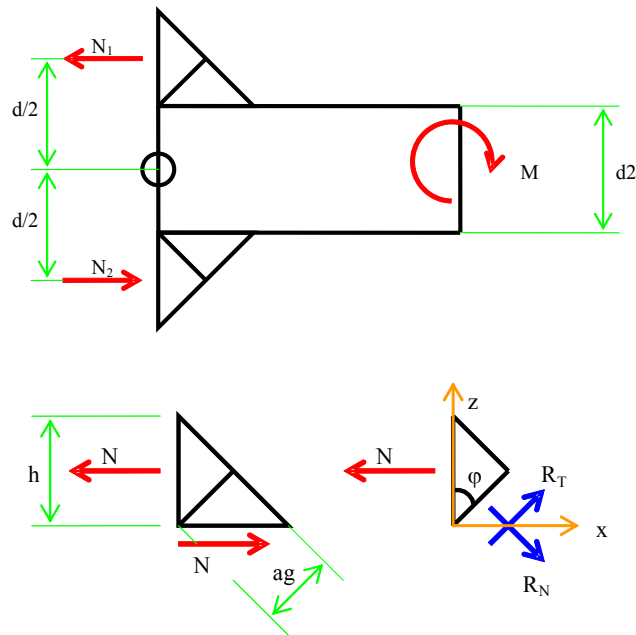


Figura 3.11 - Diagrama de corpo livre do cordão de solda

Da condição de equilíbrio aos momentos os vetores de reação resultam em $N=N_1=N_2=M/d$. Já da condição de equilíbrio das forças segundo os eixos x e z obtém-se:

$$\Sigma F_x = 0 \therefore R_T \cdot \cos(\varphi) + R_N \cdot \sin(\varphi) = \frac{M}{d/2} \quad (3.23)$$

$$\Sigma F_z = 0 \therefore R_T \cdot \sin(\varphi) - R_N \cdot \cos(\varphi) = 0 \quad (3.24)$$

Substituindo-se $\theta = 45^\circ$, obtém-se:

$$R_T = R_N = R = \frac{M\sqrt{2}}{2 \cdot d/2} \quad (3.25)$$

Analogamente ao procedimento adotado no dimensionamento de juntas submetidas a esforços normais obtém-se para a altura do cordão:

$$h = \frac{2 \cdot M \cdot \beta \cdot CS}{L \cdot d/2 \cdot S_y} \quad (3.26)$$

A metodologia que utiliza o esforço total da junta, descrita acima, possui a vantagem de ser aplicável às diversas situações em que os carregamentos externos são conhecidos. No entanto, caso os esforços nas soldas não sejam conhecidos ou quando são variáveis ao longo da junta, esta metodologia não é aplicável.

No capítulo a seguir, apresenta-se o desenvolvimento de uma metodologia empregando as soluções numéricas por elementos finitos, em que são utilizados os estados de tensões nas chapas adjacentes aos cordões de solda, podendo desta forma, ser aplicável a casos gerais de juntas soldadas.