

Análise e projeto de uma máquina didática de solda por fricção

Anderson Júnior dos Santos, ndersonsantos@hotmail.com¹

Diogo Azevedo de Oliveira, diogoazev@yahoo.com.br¹

Natanael Geraldo e Silva Almeida, natanelgsa@gmail.com¹

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Rio Comprido, 4.580, Prédio 2 – CEP 32010-025 - Contagem /MG

RESUMO: Soldagem por fricção é um processo que acontece no estado sólido, através de aquecimento gerado mecanicamente, promove ligações entre as superfícies dos materiais a serem soldados. O objetivo é projetar e simular uma máquina didática de solda no estado sólido capaz de realizar a união de materiais iguais e dissimilares, difundindo a importância tecnológica das técnicas de soldagem por atrito, destacando os parâmetros necessários para produzir soldas com qualidade. Desenvolver desenhos computacionais dos componentes do equipamento e adequá-los de acordo com normas e necessidades específicas do projeto, dimensionar a máquina a partir dos cálculos de energia despendida no processo de soldagem e estudo dos esforços solicitantes na estrutura da máquina.

PALAVRAS-CHAVE: Solda por fricção, projeto, máquina de solda por fricção

ABSTRACT: Friction Welding is a process that occurs in the solid state by heat generated mechanically promotes connections between the surfaces of the materials to be welded. The goal is to design and simulate a didactic welding machine solid capable of performing the union of equal and dissimilar materials, spreading the technological importance of friction welding techniques, highlighting the necessary parameters to produce quality welds. Develop computational drawings of machine components and adjust them according to specific standards and requirements of the project, scale the machine from calculations of energy expended in welding and study of internal forces in the structure of the machine process.

KEYWORDS: Friction welding, project, machine for friction welding

INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por fricção contínua foi introduzido na União Soviética em 1956, por intermédio de uma patente Britânica 1939. Na década de 60 a empresa americana Caterpillar Tractor Company inovou o processo, hoje conhecido como solda por inércia, que gerou uma nova patente em 1966. Inicialmente o interesse na soldagem por fricção era fazer a união de topo de metais ou plásticos com a energia gerada pelo atrito, e após muitos testes provaram com sucesso a possibilidade da união de vários materiais, podendo ser de materiais semelhantes (aço com aço) ou dissimilares (aço com material refratário) e por meio de estudos científicos observaram também vários benefícios que superam os métodos convencionais de soldagem (Brandi, 1992).

Soldagem por fricção é um processo que acontece no estado sólido, que através de aquecimento gerado mecanicamente, promove ligações entre as superfícies dos materiais a serem soldados.

A construção de uma máquina didática de solda a fricção propõem divulgar a técnica por solda a fricção que apesar de ser utilizada em outros países desde a década de 60, ainda é pouco difundida aos profissionais no mercado brasileiro, que desconhecem as vantagens e desvantagens, aplicações e oportunidades que o processo oferece.

Na busca por melhor qualidade da solda, desempenho, produtividade, economia e segurança, tal processo tem sido bastante utilizado na indústria automobilística, como na fabricação de válvulas de escape, na indústria

aeronáutica com a fabricação de trens de pouso, e na indústria petrolífera com a fabricação de tubos de perfuração de poços, etc.

METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi baseada em estudos sobre o tema e tudo o que se refere ao processo, a partir disso o projeto foi dividido em dois grupos conforme Figura 1.

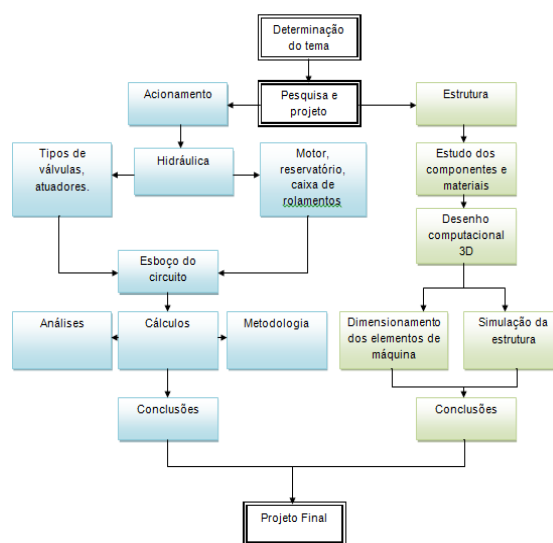


Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento do trabalho

Descrição do projeto

A máquina projetada Fig.(2), foi dimensionada a partir dos cálculos de energia despendida no processo de soldagem. Esta energia foi pré-estabelecida baseada em uma análise de testes realizados em diversos materiais, considerando o maior valor obtido, sendo utilizada para o dimensionamento dos componentes hidráulicos. O modelamento da estrutura e a simulação de solicitações de esforços foram realizados através do software SolidWorks.

A máquina é composta por base inferior, base do motor, base móvel, duas colunas guia, caixa de rolamentos, motor hidráulico, cilindro de dupla ação e unidade hidráulica.

Após pesquisas em artigos, teses e livros, o grupo realizou discussões a respeito da concepção do equipamento. Inicialmente, foi cogitada a possibilidade de fazer a máquina com posição de trabalho no sentido horizontal, ideia descartada, pois dificultaria a fixação de peças que não possuem geometria cilíndrica, como chapas. O consenso do grupo foi em projetar o equipamento no sentido vertical de trabalho, pois facilita a fixação das peças e deixa o sistema mais rígido. A Figura 2 ilustra o primeiro desenho do pré-projeto.

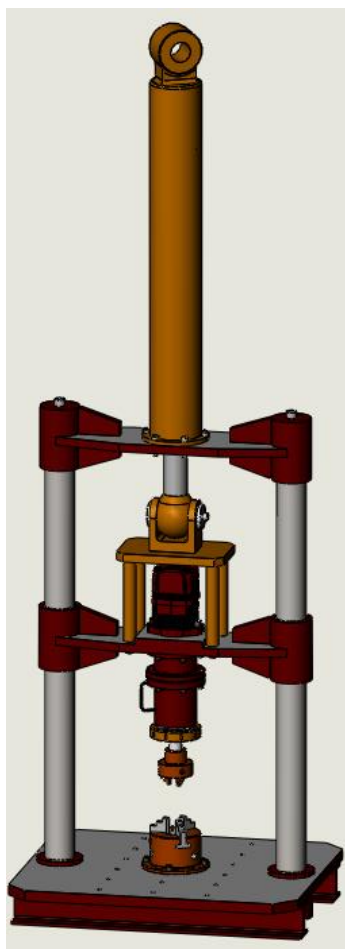


Figura 2. Pré-projeto

O projeto foi repensado após algumas análises, discussões e sugestões obtidas durante a fase de pré-projeto. Por questões de ergonomia, rigidez e segurança, o projeto foi modificado. A Figura 3 ilustra o projeto com as modificações realizadas.



Figura . Protótipo final da máquina

Soldagem por Fricção

A soldagem por fricção é um processo de soldagem em estado sólido, que produz soldas pela rotação ou movimento relativo de duas peças sob forças compressivas produzindo calor e deslocando plasticamente material nas superfícies de atrito (AWS, 1991). É um processo que visa unir partes metálicas através de caldeamento, gerado com a conversão da energia cinética em calor, através do atrito provocado pelo movimento das superfícies em contato, e a aplicação de pressão (López, 2010).

Neste processo é feita a união das superfícies em atrito a temperaturas menores que a de fusão do material, sem inclusão de materiais de brasagem, metal de

adição e calor de fonte externa. Envolve difusão e deformação para produzir uniões de alta qualidade entre os materiais, sejam eles similares ou dissimilares. Este tipo de soldagem pode ser realizado de duas maneiras distintas, o processo inercial e o processo convencional ou fricção contínua.

Soldagem por fricção contínua

Neste processo, uma das peças é presa a uma unidade motora, enquanto a outra é restringida de rotação. A peça então gira a uma velocidade predeterminada. Para serem soldadas as peças são colocadas em contato e então uma força axial é aplicada. A energia cinética é convertida em calor assim que as superfícies de atrito entram em contato. Isto continua por um tempo predeterminado, ou até que uma quantidade de deslocamento, também predeterminada, seja atingida. Então a peça é posta em repouso pela atuação de um freio ou por sua própria resistência à rotação. A força de fricção é mantida ou aumentada durante um tempo predeterminado depois da rotação cessar. A solda está assim completa. Este é o método russo e tema deste trabalho.

Fases do processo

O ciclo de soldagem pode ser dividido em quatro fases básicas Fig.(4), (Cogo, 2011):

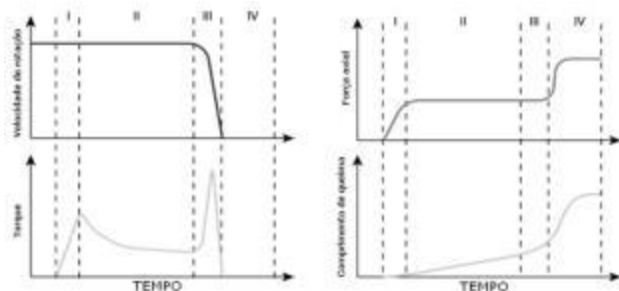


Figura 4. Ciclo de soldagem

1-Fase de atrito: Essa fase tem início quando os materiais entram em contato. Ocorre o amaciamento das protuberâncias, com isso há um aumento da região de contato entre as peças e quebra de possíveis filmes de graxa e óleo nas superfícies, ocorre também a eliminação de óxidos e impurezas presentes na interface. Devido a remoção de óxidos e o aumento da área real de contato há um aumento significativo no torque.

2-Fase de aquecimento: Nessa fase se tem queda do torque e aumento da temperatura, plastificando o material e o extrudando para a periferia das superfícies, formando as rebarbas conforme Fig.(5).

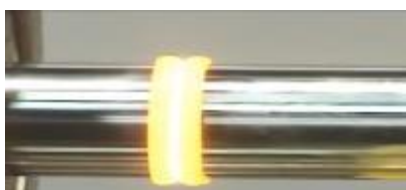


Figura 5. Formação de rebarba

3-Fase de desaceleração: Nessa etapa há a queda de velocidade até a parada da peça, a temperatura cai, a resistência ao cisalhamento aumenta e com isso ocorre outro pico de alto torque. Baixas velocidades resultam em maior taxa de queima, o material é empurrado desde as regiões internas para as rebarbas, aumentando a temperatura nesses locais. No final dessa fase ocorre a ligação mecânica.

4-Fase de forjamento: Agora a velocidade é nula, mas a força axial continua sendo aplicada, com a mesma intensidade ou em maior grau. Ocorre o resfriamento e a união é estabelecida.

Parâmetros

Os principais parâmetros são velocidade, força axial, tempo de solda e forja.

A velocidade de giro tem influência direta na ZTA (Zona Termicamente Afetada), dureza, tamanho de grão e resistência a tração, dentre outros. Ao aumentar a rotação aumenta-se a ZTA e assim diminui a taxa de resfriamento, a solda apresenta um aumento no tamanho de grão e assim apresenta menor dureza. Diminuindo a rotação reduz o tempo de aquecimento e aumenta a taxa de resfriamento, obtendo assim maior dureza, diminui a tenacidade da região soldada e gera mais rebarba conforme Fig.(6). Reduzir a velocidade exige maior força axial e maior torque do sistema. Cada material ou par de materiais tem uma faixa de velocidade ótima.

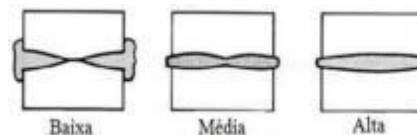


Figura 6. Formação de rebarba segundo velocidade de giro

A força axial varia durante o processo, porém deve ser o suficiente para manter as superfícies de atrito em contato e expulsar as impurezas e óxidos da interface da solda. Ao aumentar a força axial se estreita a ZTA, e aumenta a taxa de resfriamento assim se obtém uma maior dureza, ao diminuir a força axial o material tende a se recristalizar, gera maior ZTA e menor dureza. Cada material ou par de materiais tem uma faixa de força axial ótima. Forças axiais elevadas tem qualidade ruim no centro da solda e gera alta quantidade de rebarba, se assemelha a solda realizada com baixa rotação conforme Fig.(7).

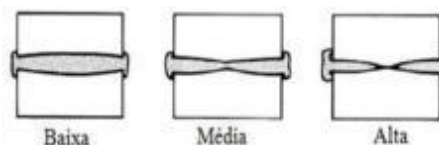


Figura 7. Formação de rebarba segundo força axial

No tempo de solda a parcela de maior importância é a do aquecimento, que é o período entre o momento de início do atrito e o fim da frenagem, ele determina a energia de soldagem, esse tempo é significativamente influenciado pela velocidade de rotação e força axial, ao aumentar a velocidade e a força o tempo diminui. Quanto maior o tempo de aquecimento menor a taxa de resfriamento e consequentemente menor dureza.

A forja é a força axial aplicada após o fim da rotação, é de grande importância no processo, é responsável por refinar os grãos austeníticos gerados pelo trabalho a quente, reduzir a tendência de formar ferrita (por afetar a taxa de resfriamento) e aumentar a resistência a tração e a dureza.

A Tabela 1, mostra os parâmetros para diversos casos.

Tabela 1. Parâmetros do processo de soldagem por fricção convencional

material	Diâmetro (mm)	Rotação(rpm)	Pressão(kg/mm ²)		Tempo total (s)
			Fase de aquecime	Fase de forjamen	
Aço - carbono	12,5	3000	34,5	34,5	7
	25	1500	52	52	15
Aço inox (300 e 400)	25	3000	83	110,5	7
	137,5 (externo)	800	138	138	35
	112,5 (interno)				
aço inox c/ aço -carbono	18,7	3000	52	103,5	10
aço ferramenta (tipo T-1)	18,7	4000	103,5	138	10
Cobre	25	6000	34,5	69	18
Alumínio com. Puro	18,7	3800	27,5	45	6
Aço - liga	9,4	5000	172,5	276	10
Aço - liga com aço- carbono	43,7 (externo)	6800	17	41,5	42
	31,2 (interno)				
	112,5 (externo)	3000	38	110,5	26
	81,2 (interno)				

Energia de soldagem

A energia fornecida nesse processo é função da potência total empregada pelo motor e da força axial empregada, consequentemente uma potência relativamente alta é necessária. O torque pode ser calculado através da potência ou vice-versa, conforme Eq.(1):

$$W = 2,7\pi RT \quad (1)$$

Onde

W = potência necessária para soldagem

R = rotação de soldagem

T = torque, o qual pode ser calculado também pela Eq.

(2):

$$T = 2\pi\mu Pr^3 \quad (2)$$

Onde:

r = raio da superfície da barra

μ = coeficiente de atrito

P = pressão aplicada em Mpa

T = torque em Nm.

Vantagens e desvantagens

A soldagem por fricção apresenta diversas vantagens perante outros processos de união, dentre elas destacam-se:

- o fato de não ser necessária atenção especial quanto a limpeza superficial, pois este processo tende a remover películas contaminantes e elimina-las junto a rebarba;

- a baixa possibilidade de falhas de descontinuidade, porosidade e segregação;
- possibilidade de ser realizada em qualquer plano;
- dispensar o uso de metais de adição e fluxo ou gás protetor;
- o fato de não ter respingos, fumaça, faíscas (eliminando o risco de explosão), radiação ou riscos de problemas elétricos envolvendo altas tensões, sendo assim um processo mais seguro;
- a possível união de materiais dissimilares de difícil ou impossível soldagem por outros processos;
- alta repetibilidade e produtividade;
- menor custo em mão de obra, por não necessitar de operador qualificado.

E as principais desvantagens são:

- limitações geométricas, ao menos uma das partes deve ser revolucionada em torno do eixo do plano de soldagem, as geometrias típicas para esse processo são: barra com barra, barra com tubo, barra com chapa, tubo com tubo e tubo com chapa;
- ao menos um dos materiais deve ser plasticamente deformável nas condições do equipamento;
- o par em contato deve gerar calor por fricção, isso elimina alguns materiais;
- o alinhamento das peças é fundamental para um aquecimento uniforme e uma solda com boa qualidade.

Estrutura

A estrutura é o “esqueleto” do equipamento, responsável por suportar todo o esforço decorrente do trabalho realizado pelo cilindro e motor hidráulico.

O torque produzido pelo motor hidráulico, o esforço promovido pelo cilindro hidráulico e o peso de determinados sistemas, geram reações na estrutura do equipamento, e sua tensão admissível precisa ser superior às tensões provocadas por estes esforços para não haver comprometimento do funcionamento do sistema, e para não ocorrer deformação plástica na estrutura.

Análise das solicitações na estrutura

O cilindro hidráulico promove tensões de flexão nas bases móvel, do motor e inferior. Há também flexão nas colunas guia proveniente da resultante das tensões de forças cisalhantes sofridas pelas bases do motor e móvel. O cilindro hidráulico provoca tensões trativas nas colunas guia e compressivas no eixo.

O motor hidráulico provoca tensões de torção nas bases do motor e móvel, resultando em uma tensão cisalhante nas colunas guia.

As cargas máximas produzidas pelo cilindro e pelo motor hidráulico foram determinadas a partir da tab.(1), seus dados foram obtidos experimentalmente. Foram considerados os maiores valores do quadro, pois representam condições mais severas de trabalho, elas serão apresentadas a frente.

Materiais da fabricação da estrutura

O material da estrutura deve possuir propriedades mecânicas mais que suficientes para suporta-las, não permitindo que ocorram danos ao equipamento durante o processo. Toda a estrutura será fabricada em aço,

buscando nestes materiais propriedades como ductilidade, resiliência e resistência mecânica. Estas propriedades são interessantes, pois toda estrutura trabalha exclusivamente dentro do regime elástico, definida pela lei de Hooke Eq.(3).

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (3)$$

Onde:

σ (MPa) = Tensão;

E (MPa) = Módulo de elasticidade ou módulo de Young;

ε (adimensional) = deformação específica

A escolha dos materiais foi baseada em suas propriedades, com maiores considerações ao limite de escoamento, soldabilidade, temperabilidade, usinabilidade e quanto a geometria dos elementos, buscando uma maior rigidez em partes específicas da estrutura. Segundo as condições nas quais a estrutura é solicitada, optou-se pela utilização de aço com baixo e médio teor de carbono.

Dimensionamento da estrutura

A seguir será explicitado o dimensionamento das partes da estrutura da máquina projetada.

Determinação dos esforços sobre a estrutura e elementos de fixação

O valor da força de trabalho do cilindro hidráulico é de 80.000 N, baseado na Tab.(1). O critério de escolha deste valor justifica-se pela possibilidade da soldagem de diversos tipos de materiais, já que esta carga varia de acordo com o material.

O valor do torque do motor é de 57 N.m, conforme especificação do fabricante. Os parâmetros da pressão, coeficiente de atrito e raios foram obtidos também no Tab.(1) e substituídos na Eq.(4).

$$T = 2 \times \Pi \times \mu \times P \times r^3 \quad (4)$$

$$T = 57 \text{ N.m}$$

O valor aproximado que atende a necessidade do projeto, consultado no catálogo Bosch Rexroth, é o motor A2FM- tamanho nominal 10, com torque de 57 N.m.

Dimensionamento dos parafusos

Para todo o sistema, optou-se por parafusos forjados a quente, de classe 6.8. Os números indicados pela classe indicam que o parafuso Possui tensão de ruptura (σ_r) de 60 Kgf./mm² e tensão de escoamento (σ_e) de 48 Kgf./mm².

A motivação da escolha destes parafusos, se da pela facilidade de encontra-los no mercado, por atenderem as especificações do projeto e por serem baratos.

Para o cálculo da tensão admissível utilizam-se dados do Tab.(2):

Tabela 2. Tensões admissíveis

SOLICITAÇÃO	CARREGAMENTO	FADIGA	TENSÃO ADMISSÍVEL	
			$\sigma_e = 50$ Kg/mm ²	$\sigma_e = 50$ Kg/mm ²
AXIAL	ESTÁTICO-SUAVE		0,65 X σ_e	0,70 X σ_e
	ESTÁTICO-CHOQUE		0,40 X σ_e	0,45 X σ_e
	INTERMITENTE-SUAVE		0,54 X σ_e	0,60 X σ_e
	INTERMITENTE-CHOQUE		0,36 X σ_e	0,40 X σ_e
	INTERMITENTE	PRESENTE	-	0,25 X σ_e
TRANSVERSAL	ALTERNADO	PRESENTE	-	0,16 X σ_e
	ALTERNADO-CHOQUE	PRESENTE	-	0,13 X σ_e
	ESTÁTICO		0,40 X σ_e	0,45 X σ_e
	INTERMITENTE		0,27 X σ_e	0,30 X σ_e
	INTERMITENTE	PRESENTE	-	0,18 X σ_e
	ALTERNADO/CHOQUE	PRESENTE	-	0,13 X σ_e

A máquina de solda por fricção possui o carregamento do tipo estático-suave, a tensão de escoamento (σ_e) do parafuso é de 48 Kgf./mm² ≤ 50 Kgf./mm², utiliza-se para o cálculo da tensão admissível (σ_{ad}) o fator de correção 0,65 x σ_e , logo $\sigma_{ad} = 31,2$ Kgf./mm².

A força total é calculada de acordo com a Eq.(5).

$$Ft = \frac{1,9(\Sigma Fu + \Sigma Ft_{cis})}{\mu} \quad (5)$$

Onde:

Fu = força de tração unitária, calculada a partir da Eq.(6).

Ft_{cis} =força total cisalhamento

μ = coeficiente de atrito

$$Fu = \frac{\text{Força trativa do sistema}}{n} \quad (6)$$

onde:

n = número de parafusos

A força total cisalhante (Ft_{cis}) é calculada de acordo com a Eq.(7).

$$Ft_{cis} = \frac{Fu_{cis}}{n} \quad (7)$$

Onde:

Fu_{cis} = força cisalhante unitária

n = número de parafusos

A Figura 8, apresenta o arranjo de parafusos para o cálculo da Fu_{cis} Eq.(7).

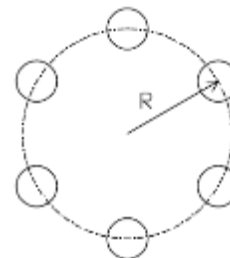


Figura 8. Arranjo dos parafusos

$$Fu_{cis} = \frac{M}{n \times r} \quad (8)$$

Onde:

M = momento torçor

n = número de parafusos

r = raio

Após o cálculo da força total, calcula-se a área resistente, segundo Eq.(9).

$$Área = \frac{F_t}{\sigma_{ad}} \quad (9)$$

Utilizando o valor da área resistente calculada, compara-se com o valor da área resistente através do Tab.(3), buscando sempre o mais próximo.

Tabela 3. Classificação da rosca e sua seção resistente

ROSCA MÉTRICA PADRÃO	SEÇÃO RESISTENTE NOMINAL (mm ²)
M3	5,03
M3,5	6,78
M4	8,78
M5	14,2
M6	20,1
M7	28,9
M8	36,6
M10	58
M12	84,3
M14	115
M16	157
M18	192
M20	245
M22	303
M24	353
M27	459
M30	561
M33	694
M36	817
M39	976

Dimensionamento dos parafusos do calço e caixa de rolamentos

A maior solicitação nos parafusos é no calço da caixa de rolamentos sendo esta uma solicitação de tração, provocada pela carga “P” do sistema 1, conforme Fig.(9). Esta carga “P” do sistema 1 é dimensionada a partir do peso: do calço da caixa de rolamentos (3,32 Kg), dos dois rolamentos (0,6 Kg), do eixo principal (1,8 Kg), da caixa de rolamentos (6,82 Kg) e tampa da caixa de rolamentos (1,02 Kg), totalizando P = Fu = 13,56 Kg.

Será utilizado o mesmo parafuso para a caixa de rolamentos, pois a variação da carga é mínima, atendendo tanto ao calço quanto a caixa de rolamentos.

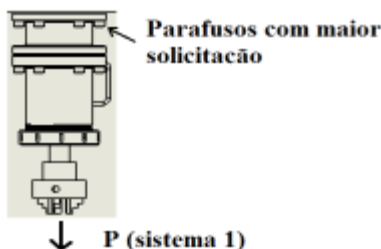


Figura 9. Solicitação nos parafusos da caixa de rolamentos

A caixa de rolamentos possui seis parafusos.

$$F_u = \frac{13,56}{6} = 2,26 \text{ Kgf}$$

$$F_t = 1,9 \times 2,26 = 4,3 \text{ Kgf}$$

$$Área = \frac{4,294}{31,2} = 0,14 \text{ mm}^2$$

Segundo Tab.(3), o parafuso indicado é M3, porém as dimensões da máquina solicitam um parafuso maior, foi decidido a utilização de um parafuso M8.

Dimensionamento dos parafusos da base do Cilindro

A solicitação nos parafusos da placa base do cilindro é puramente trativa, provocada pela carga “P” do sistema 2, conforme Fig.(10), o dimensionamento da carga “P” é realizado com base no peso do cilindro (47,82Kg), da placa base do cilindro (11,79 Kg) e da carga máxima de trabalho promovida pelo cilindro (80000 N / 8154,94 Kgf) , totalizando P = Fu = 8214,55 Kgf. O cálculo para o dimensionamento dos parafusos da base do cilindro é idêntico ao cálculo para os parafusos do calço e caixa de rolamentos.

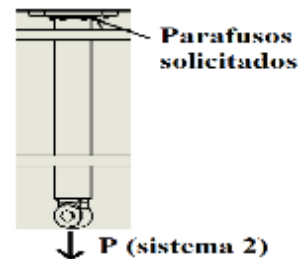


Figura 10. Solicitação dos parafusos da placa base

A base do cilindro possui seis parafusos.

$$F_u = \frac{8214,55}{6} = 1369,1 \text{ Kgf}$$

$$F_t = 1,9 \times 1369,1 = 2601,28 \text{ Kgf}$$

$$Área = \frac{4,22601,28}{31,2} = 83,38 \text{ mm}^2$$

Segundo Tab.(3) o parafuso indicado é o M12

Dimensionamento dos parafusos da base do motor

A solicitação nos parafusos da base do motor é de cisalhamento, provocada pela carga “P” do sistema 3, como a Fig.(11), ilustra. A carga “P” é dimensionada conforme o torque promovido pelo motor hidráulico, 57 N.m. ou 5810,4 Kgf. mm².



Figura 11. Solicitação dos parafusos da base do motor

$$F_{u_{cis}} = \frac{5810,4}{6 \times 53} = 18,27 \text{ Kgf}$$

$$F_{t_{cis}} = \frac{18,27}{0,3} = 60,9 \text{ Kgf}$$

$$\sigma_{ad} = 0,65 \times 48 = 31,2 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Área} = \frac{60,9}{31,2} = 1,95 \text{ mm}^2$$

Segundo Tab.(3), o parafuso indicado é M3, porém as dimensões da máquina solicitam um parafuso maior, foi decido a utilização de um parafuso M12.

Parafusos de fixação da base do motor nas colunas guia

A solicitação nos parafusos de fixação da base do motor nas colunas guia é puramente trativa, provocada pela carga “P” do sistema 4, conforme Fig.(12), o dimensionamento da carga “P” é realizado com base na carga máxima de trabalho promovida pelo cilindro, 80.000 N ou 8154,94 Kgf., totalizando P = Fu = 8154,94 Kgf.

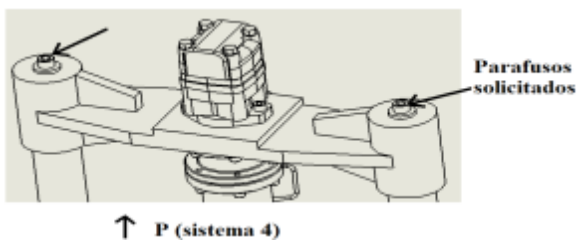


Figura 12. Solicitação nos parafusos de fixação da base do motor nas colunas guia

Cada coluna possui 1 parafuso, totalizando 2 parafusos.

$$f_u = 8154,94 \text{ Kgf.} / 2$$

$$F_t = 1,9 \times 4077,47 = 7747,193 \text{ Kgf}$$

$$\text{Área} = \frac{7747,193}{31,2} = 248,31 \text{ mm}^2$$

Segundo Tab.(3), o parafuso indicado é M22

Dimensionamento da solda na estrutura

Como visto no referencial teórico, as partes a serem unidas na máquina de solda por fricção serão soldadas pelo processo MIG e eletrodo revestido. O valor base para o cálculo da garganta da solda no equipamento segundo a norma AWS D1.1/D1.1M:2010, explicita que para tensões cisalhantes na área, o valor da tensão permissível não deve exceder 0,4 x limite de escoamento do metal de base. O aço estrutural escolhido para a fabricação da estrutura é o ASTM A36, possui tensão de escoamento igual a 250 MPa / 25,484 Kgf./mm². Portanto a tensão admissível é de 100 Mpa / 10,2 Kgf./mm².

Para o cálculo da altura do filete, valor de b da Fig.(13), da solda utiliza-se a Eq.(10). A dedução segue da seguinte forma:

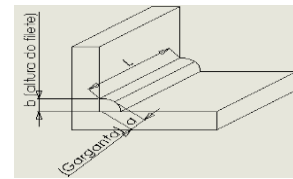


Figura 13. Filete da solda

$$\tau_{adm} = \frac{F}{A}$$

Onde:

τ_{adm} (Kgf/mm²) = Tensão cisalhante admissível.

F (Kgf) = carga atuante.

A = área resistente

A = a x L

a = b x cos45°

a = 0,707 x b

A = 0,707 x b x L

$$\tau_{adm} = \frac{F}{0,707 \times b \times L}$$

$$b = \frac{F}{\tau_{adm} \times 0,707 \times L} \quad (10)$$

Dimensionamento da solda na base do motor e base móvel

Ambas as bases possuem a mesma solicitação. A maior solicitação é relativa a carga máxima de trabalho do cilindro hidráulico (8154,94 Kgf.), como a solda do equipamento possui dois pontos de reação opondo esta carga, a força total atuante é a metade da carga do cilindro (4077,47 Kgf.). A Figura 14 apresenta o sistema de carga e reações da base do motor e base móvel e as regiões a serem soldadas. Esta segunda imagem apresenta um quadrante da solda, sendo todos simétricos.

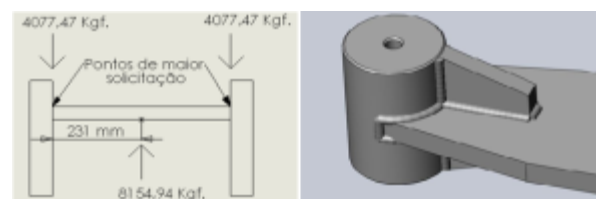


Figura 14. Sistema de carga e reações da base do motor e base móvel e as regiões a serem soldadas

Foi considerado para o dimensionamento do cordão de solda somente a união entre o cilindro e a chapa central (desconsiderando o braço de apoio), pois neste ponto de união a solicitação é maior, aumentando a confiabilidade do sistema. A Figura 15, apresenta as dimensões da região soldada.

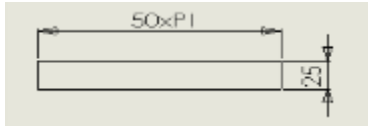


Figura 15. Dimensões da solda

$$\tau_{adm} = \frac{M \cdot Y}{J_u \cdot 0,707 \cdot b} + \frac{F}{0,707 \cdot b \cdot L} \quad (11)$$

Onde:

τ_{adm} = Tensão cisalhante admissível.

M = Momento de inércia

J_u = Momento polar unitário

a = Garganta da solda

L = Comprimento da solda

$$b = \frac{1}{0,707 \cdot 10,2} \left(\frac{(4077,47 \cdot 231) \cdot 12,5}{(157,08 + 25)^3} + \frac{4077,47}{2 \cdot (157,08 + 25)} \right)$$

$$b = 3,18$$

Dimensionamento da solda da coluna com a bucha de fixação da base do motor

A solicitação desta união é de cisalhamento puro. Sendo relativa à carga máxima de trabalho do cilindro hidráulico (8154,94 Kgf.), como a solda do equipamento possui dois pontos de reação opondo esta carga, a força total atuante é a metade da carga do cilindro (4077,47 Kgf.). A Fig.(16), apresenta o sistema de carga e reações na união da coluna com a bucha de fixação da base do motor.

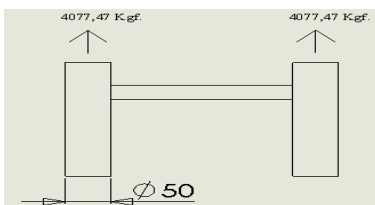


Figura 16. Sistema de carga e reações na união da coluna com a bucha

A Figura 17 demonstra o sistema de união dos componentes e a solda desta união.

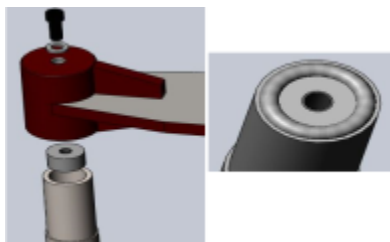


Figura 17. Sistema de união dos componentes e a solda desta união

$$\tau_{adm} = \frac{F}{0,707 \cdot b \cdot L}$$

$$b = \frac{4077,47}{0,707 \cdot 157,08 \cdot 10,2}$$

$$b = 3,6 \text{ mm}$$

Dimensionamento da solda na união da coluna com a bucha da base inferior e da bucha da base inferior com a base inferior

A solicitação destas uniões é de cisalhamento puro. Os valores das cargas e o sistema de carga e reações, Fig.(15), para o dimensionamento são os mesmos do cálculo utilizado para o dimensionamento da união da coluna com a bucha de fixação da base do motor. A maior solicitação está na união da coluna com a bucha da base inferior, portanto será utilizado o mesmo tamanho do filete “b” para as duas uniões baseado na maior solicitação. A Fig.(18) especifica o diâmetro com maior solicitação e o posicionamento das duas regiões soldadas.

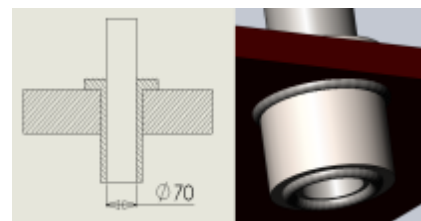


Figura 18. Solicitação e o posicionamento das duas regiões soldadas

$$\tau_{adm} = \frac{F}{0,707 \cdot b \cdot L}$$

$$b = \frac{4077,47}{0,707 \cdot 219,91 \cdot 10,2}$$

$$b = 2,58 \text{ mm}$$

Dimensionamento do eixo

Para determinação do eixo principal, foi utilizado um software de simulação. O material do eixo é o AISI 4340. Este material possui o limite de escoamento de 710 Mpa. A Figura 19 apresenta o gráfico da tensão de Von Mises. O maior valor foi de 129,64Mpa.

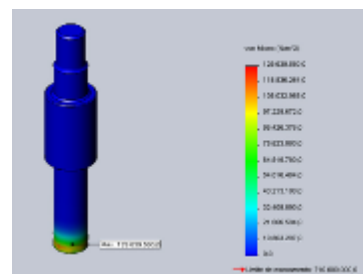


Figura 19. Tensão de Von Mises

A Figura 20 apresenta o gráfico do deslocamento. O maior deslocamento foi de 0,0075mm.

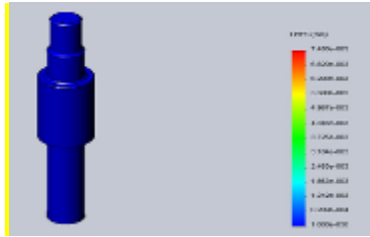


Figura 20. Deslocamento

A Figura 21 apresenta o gráfico do fator de segurança. O eixo possui o menor fator de segurança de 5,02.

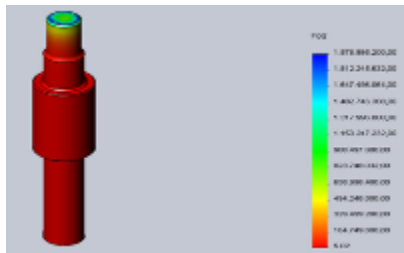


Figura 21. Fator de segurança

A Figura 22 apresenta a imagem da verificação de fadiga (sem um estudo detalhado).

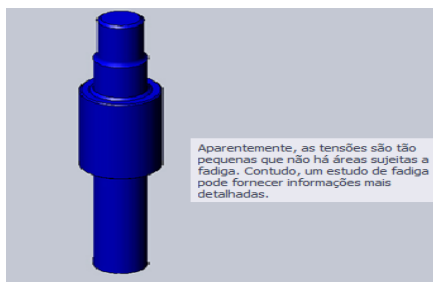


Figura 22. Verificação de fadiga

Conclui-se que diante dos dados de: tensão de Von Mises, deslocamento, fator de segurança e verificação de fadiga, o eixo possui dimensões seguras para suportar as cargas em que é solicitado, mantendo a integridade do elemento e o funcionamento do equipamento.

Dimensionamento do acoplamento

O dimensionamento do acoplamento foi obtido a partir do torque total do sistema, Eq.(12). A escolha do acoplamento é baseada no Fig.(23), onde possui todas as especificações do acoplamento. O acoplamento é do tipo rígido para manutenção do sincronismo e rigidez do sistema.

TAM.	Torque Nominal (Nm)	Rotação Máxima rpm	Furo Máximo		Furo Min (mm)	Passo de ocup. mm furo - kg		Quant. De grãos (kg)	Dimensões - Milímetros										TAM.
			mm	Pol		G10	G20		A	B	C	D	F	H	J	M	Gop		
1010G	1139	8000	50	1,875	12,7	4,08	4,54	0,0408	115,9	88,9	42,9	68,4	83,8	140	38,9	51	3	1010G	
1015G	2350	6500	65	2,375	19,0	7,71	9,07	0,0726	152,4	110,6	49,2	86,4	105,2	190	47,9	51	3	1015G	
1020G	4270	5000	78	2,875	25,4	13,6	15,9	0,113	197,8	132,0	62,9	105,2	136,6	190	59,4	77	5	1020G	
1025G	7470	5000	98	3,625	31,8	24,9	29,5	0,2127	212,9	158,9	77,9	130,4	154,9	218	71,6	92	5	1025G	
1030G	12100	4400	111	4,125	38,1	38,6	43,1	0,343	239,9	187,4	91,2	152,4	180,3	218	83,8	107	5	1030G	
1035G	18500	3900	134	4,875	50,8	63,2	68,0	0,544	279,4	218,9	104,4	177,8	211,3	284	97,5	130	6	1035G	
1040G	30600	3600	160	5,750	63,5	88,5	97,5	0,907	317,5	247,3	120,6	209,6	245,4	284	111,3	145	6	1040G	
1045G	42000	3200	183	6,750	76,2	127	136	1,04	346,0	277,7	134,9	235,0	274,1	284	122,9	166	8	1045G	
1050G	54600	2900	200	7,375	88,9	177	177	1,77	388,9	314,3	153,2	254,0	305,8	381	140,7	183	8	1050G	
1055G	74000	2650	220	8,500	101,6	238	249	2,22	425,4	344,3	168,1	279,4	334,3	381	158,0	204	8	1055G	
1060G	91600	2450	244	9,125	114,3	-----	-----	306	318	427,2	188,2	304,8	360,0	356	189,2	229	8	1060G	
1070G	135000	2150	289	10,875	127,0	-----	-----	485	435	527,0	405,5	230,7	355,6	404,9	284	195,6	107	10	1070G

Figura 23. Catalogo acoplamento FALK

Dimensionamento quanto ao torque

$$T_t = T_s \times FS \quad (12)$$

Onde:

T_t = Torque total

T_s = Torque solicitado

FS = Fator de serviço

O torque solicitado é de 57 Nm, do motor hidráulico, o fator de serviço foi obtido através do catálogo geral de acoplamentos Falk.

Como não há especificação do tipo de máquina de soldagem por fricção, optou-se por um fator de serviço de uma máquina operatriz com acionamento principal, como um torno mecânico, onde FS é igual a 1,5.

Torque total = 57 x 1,5

Torque total = 85,5 Nm.

A condição de escolha do acoplamento é ter o torque calculado menor que o torque nominal do acoplamento. 85,5 Nm. < 1139 Nm.

O acoplamento de tamanho 1010G atende as necessidades da máquina de solda, principalmente quanto à rotação de trabalho, que é determinante no processo.

Parte hidráulica

A parte hidráulica refere-se à unidade hidráulica, motor hidráulico, válvulas, caixa de rolamentos e cilindro hidráulico. Assim, se deve calcular desenhar e analisar o circuito hidráulico.

As características do sistema hidráulico são apresentadas abaixo:

- o trabalho que será realizado durante o processo de soldagem por fricção é unicamente hidráulico;
- motor hidráulico de pistões axiais com alta rotação;
- válvulas responsáveis por controlar a vazão, pressão e movimentação do cilindro dupla ação;
- caixa de rolamentos responsável em suportar a carga axial do sistema e realizar a troca de calor dos rolamentos cônicos;
- cilindro hidráulico será o componente responsável pelo deslocamento axial;
- unidade hidráulica armazena o fluido hidráulico responsável pela transmissão de força;

Cálculos do circuito hidráulico

A seguir serão expostos os cálculos realizados para a parte hidráulica.

Avanço

Cálculos da câmara responsável pelo avanço.

Área do pistão- A_p
 d_p - Diâmetro do pistão = 110 mm

$$A_p = \frac{\pi}{4} \times d_p^2$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} \times 0,110^2$$

$$A_p = 9,50 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Volume da câmara de avanço

S = Comprimento do cilindro = 980 mm

$V = S \times A_p$

$$V = 0,980 \text{ m} \times 0,0094985 \text{ m}^2$$

$$V = 9,30 \text{ litros}$$

Velocidade de avanço - V_a

Devido aos parâmetros envolvidos durante o processo de soldagem, é necessário determinar duas velocidades:

- velocidade de posicionamento antes do contato entre as peças;
- velocidade de soldagem, fase de forjamento como citado na revisão bibliográfica.

A determinação da velocidade de posicionamento é considerada fator de segurança, o grupo a princípio adotou uma velocidade de 0,02 m/s para o posicionamento do cilindro.

A velocidade de soldagem é considerada a fase de forjamento do processo. Para determinar a velocidade de soldagem é necessário analisar os dados de recalque e tempo do tabela 1.

Após análise dos dados do Tab.(1), foi considerado que o movimento é uniforme durante a fase de recalque. Os dados referenciais para o desenvolvimento do cálculo da velocidade na fase de forjamento Eq.(13), foram consultados para a solda cobre com cobre, devido a maior velocidade durante o processo.

$$v_s = \frac{d}{t} \quad (13)$$

Velocidade de soldagem - V_s

d = distância (m)

t = tempo (s)

$$v_s = \frac{0,00375}{0,5}$$

$$v_s = 7,50 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vazão de trabalho em vazio

$$Q_{cilin.} = v_a \times A_p$$

$$Q_{cilin.} = \text{Vazão do cilindro}$$

$$Q_{cilin.} = 0,02 \times 0,0094985$$

$$Q_{cilin.} \approx 0,19 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Vazão de trabalho com carga

$$Q_{cilin.} = A_p \times v_s$$

$$Q_{cilin.} = 0,0094985 \times 0,0075$$

$$Q_{cilin.} \approx 0,07 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Força do cilindro = força total da máquina

$$F = 80 \text{ KN}$$

Área da coroa- A_c

$$A_c = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_h^2)$$

$$d_p = \text{diâmetro do pistão} = 0,110 \text{ m}$$

$$d_h = \text{diâmetro da haste} = 0,057 \text{ m}$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} (0,110^2 - 0,057^2)$$

$$A_c = 6,95 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Volume da câmara de retorno

$$V = S_R \times A_c$$

$$S_R = \text{deslocamento do retorno da máquina} = 0,2 \text{ m}$$

$$V = 0,2000 \times 0,0069$$

$$V = 1,39 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Relação de área - r

$$r = \frac{A_p}{A_c}$$

$$r = \frac{0,0094985}{0,00694804}$$

$$r = 1,3670$$

Vazão induzida no avanço - q_{ia}

$$Q_{ia} = \frac{Q_{cilin.}}{r}$$

$$Q_{ia} = \frac{1,8997 \times 10^{-4}}{1,367}$$

$$Q_{ia} = 0,1390 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Vazão induzida no retorno - q_{ir}

$$Q_{ir} = Q_{cilin.} \times r$$

$$Q_{ir} = 1,8997 \times 10^{-4} \times 1,3670$$

$$Q_{ir} = 2,60 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Força total - f_t

A força de contrapressão (F_{cp}), segundo Reis (2009), a contrapressão pode ser tão alta quanto 70000 kgf/m² em alguns sistemas.

No processo de soldagem por atrito a força de contrapressão é a reação do contato da peça em movimento com a peça estacionária.

$$F_t = F_{cp} + F_{máquina}$$

$$P = 70000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$F_r = P \times A_c$$

$$F_r = 70000 \times 0,00695156$$

$$F_r = 486,60 \text{ Kgf}$$

$$F_t = F + F_r$$

$$F_t = 8154,9439 + 486,60$$

$$F_t = 8,64 \times 10^3 \text{ Kgf}$$

Pressão de avanço - P_a

$$P_a = \frac{F_t}{A_p}$$

$$P_a = \frac{8641,5439}{0,0094985}$$

$$P_a \approx 89,25 \text{ bar}$$

Pressão induzida no avanço - P_{ia}

$$P_{ia} = \frac{F_t}{A_c}$$

$$P_{ia} = \frac{5583,20}{0,00694804}$$

$$P_{ia} = 8,03 \times 10^5 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

Volume do reservatório - V_{res}

Consultado o catálogo do fornecedor de motor hidráulico Bosh Rexroth, foi determinado à escolha do motor hidráulico A2FM tamanho nominal N°10. A vazão necessária para o funcionamento desse motor é de 82 l/min.

A vazão necessária para o funcionamento do cilindro hidráulico é de 11,4 l/min.

$$Q_b = 82 + 11,4$$

$$Q_b = 93,4 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$V_{res} = (2a3) \times Q_b$$

Determinado o valor de 2,5 o valor de vazão da bomba.

$$V_{res} = 2,5 \times 93,4$$

$$V_{res} = 233,5 \text{ l}$$

Diâmetro da tubulação

Segundo Parker (2014), velocidades recomendadas para o fluxo do óleo na tubulação são:

a) linha de pressão: 2400 dm/min (4 m/s);

b) linha de retorno: 1800 dm/min (3 m/s);

c) linha de sucção: 600 dm/min (1 m/s);

Área da tubulação de sucção para o cilindro

A_{tubulação} = Área da tubulação

$$A_{tubulação} = \frac{Q_{cilin}}{v} \times 0,17$$

$$A_{tubulação} = \frac{1,8997 \times 10^{-4}}{1}$$

$$A_{tubulação} = 1,90 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Área da tubulação de sucção para o motor hidráulico

Q_m = Vazão do motor de pistões axiais

$$A_{tubulação} = \frac{Q_m}{v} \times 0,17$$

$$A_{tubulação} = 1,37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Área da tubulação considerando a soma da vazão do motor e cilindro

$$A_{tubulação} = \frac{Q_b}{v} \times 0,17$$

$$A_{tubulação} = \frac{1,56 \times 10^{-3}}{1}$$

$$A_{tubulação} = 1,56 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Diâmetro da mangueira na sucção do cilindro

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{1,90 \times 10^{-4} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 0,015 \text{ m}$$

Diâmetro da mangueira na sucção do motor hidráulico

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{1,3667 \times 10^{-3} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 4,17 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Diâmetro da mangueira de sucção considerando a soma da vazão do motor e cilindro

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{1,68 \times 10^{-3} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 4,63 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Área da tubulação de retorno cilindro

$$A = \frac{Q_{cilin}}{v}$$

$$A = \frac{1,89 \times 10^{-4}}{3}$$

$$A = 6,33 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Área da tubulação de retorno motor hidráulico

$$A = \frac{Q_m}{v}$$

$$A = \frac{1,36 \times 10^{-3}}{3}$$

$$A = 4,56 \times 10^{-4} m^2$$

Diâmetro da tubulação de retorno cilindro

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{6,33 \times 10^{-5} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 8,98 \times 10^{-3} m$$

Diâmetro da tubulação de retorno motor hidráulico

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4,56 \times 10^{-4} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 2,41 \times 10^{-2} m$$

Potência do motor hidráulico

$$P = \frac{2 \times \pi \times T \times n}{60000}$$

Onde:

P=Potência (Kw)

T=Torque (N.m)

n = rotação (RPM)

Tendo como base dados fornecidos pelo catálogo Bosh Rexroth motor A2FM tamanho nominal N°10.

$$P = \frac{2 \times \pi \times 57 \times 8000}{60000}$$

$$P = 47,75 Kw$$

Área da tubulação linha de pressão cilindro

$$A = \frac{Q_{cilin}}{v}$$

$$A = \frac{1,90 \times 10^{-4}}{4}$$

$$A = 4,75 \times 10^{-5} m^2$$

Área da tubulação linha de pressão motor hidráulico

$$A = \frac{Q_m}{v}$$

$$A = \frac{1,37 \times 10^{-3}}{4}$$

$$A = 3,42 \times 10^{-4} m^2$$

Diâmetro da mangueira na linha de pressão do cilindro

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4,75 \times 10^{-5} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 7,78 \times 10^{-3} m$$

Diâmetro da mangueira na linha de pressão do motor hidráulico

$$D = \sqrt{\frac{A_{tubulação} \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{3,42 \times 10^{-4} \times 4}{\pi}}$$

$$D = 2,09 \times 10^{-2} m$$

Cálculo do número de Reynolds

O cálculo do número de Reynolds é para verificar nas linhas de pressão e sucção se o regime de trabalho é laminar ou turbulento.

$$Re = \frac{V \times d}{\nu}$$

A viscosidade cinemática considerada para os cálculos foi a do óleo HPL 68 igual a $68 \times 10^{-6} m^2/s$.

Linha de pressão

Segundo Parker (2014) a velocidade da linha de pressão é igual 4 m/s.

Cálculo de Reynolds para o cilindro

$$Re = \frac{4 \times 7,78 \times 10^{-3}}{68 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 457,4235$$

Escoamento laminar número de Reynolds abaixo de 2000.

$$f = \frac{X}{Re}$$

$$f = \frac{90}{457,4235}$$

$$f = 0,1968$$

Cálculo de Reynolds para o motor hidráulico

$$Re = \frac{4 \times 20857 \times 10^{-2}}{68 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 1226,8823$$

$$f = \frac{X}{Re}$$

$$f = \frac{90}{1226,8826}$$

$$f = 0,0733$$

Linha de sucção

Segundo Parker (2014) a velocidade da linha de sucção é igual 1 m/s.

$$Re = \frac{1 \times 4,625 \times 10^{-2}}{68 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 680,147$$

$$f = \frac{X}{Re}$$

$$f = \frac{90}{680,147}$$

$$f = 0,1323$$

Perda de carga

O cálculo de perda de carga é relevante para o correto dimensionamento dos componentes, para obter a potência necessária capaz de realizar a solda por fricção.

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2 \times \rho}{9266} \times \frac{1}{215915}$$

Cálculo de perda de carga na linha de pressão cilindro.

Considerando 2 m de mangueira para o projeto.

$$\Delta P = 0,0073 \frac{200 \times 400^2 \times 880 \times 1}{7,776 \times 10^{-1} \times 9266 \times 215915}$$

$$\Delta P = 1,25 \text{ bar}$$

Cálculo de perda de carga na linha de pressão motor hidráulico.

Considerando 3 m de mangueira para o projeto.

$$\Delta P = 0,1323 \frac{300 \times 400^2 \times 880 \times 1}{2,0857 \times 9266 \times 215915}$$

$$\Delta P = 1,34 \text{ bar}$$

Cálculo para regulagem da válvula reguladora de pressão.

$$P_{ef} = P_{nom} \times 1,2$$

Onde:

P_{ef} = Pressão efetiva

P_{nom} = Pressão nominal

1,2 = Constante

$$P_a = P_{nom} = 89,25 \text{ bar}$$

$$P_{ef} = 89,25 \times 1,2$$

$$P_{ef} = 107,10 \text{ bar}$$

Esboço circuito hidráulico

Para controlar os parâmetros envolvidos no processo de soldagem é necessário esquematizar um circuito hidráulico para o cilindro e motor hidráulico.

Esboço do circuito hidráulico para o cilindro.

O circuito hidráulico do cilindro Fig.(24) é responsável em efetuar a primeira fase do processo de soldagem por fricção e pela segunda fase do processo, fase de forjamento.

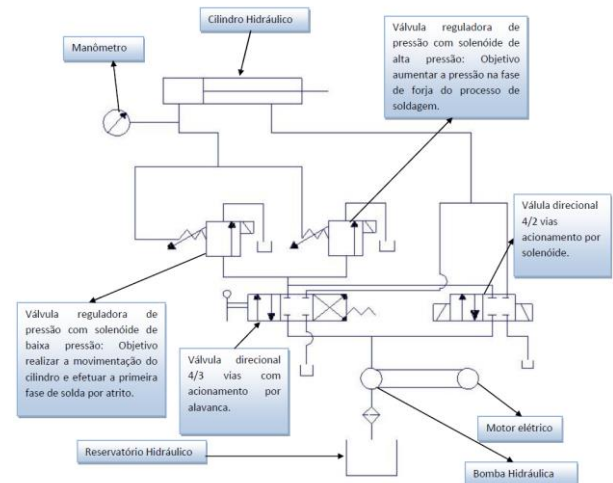


Figura 24. Esboço circuito hidráulico cilindro.

O controle das válvulas reguladoras de pressão é feito por micro controlador arduino, considerando os tempos de cada fase do processo. Os tempos serão programados de acordo com cada material.

Fase 1: A válvula reguladora com baixa pressão tem objetivo de posicionar o cilindro e efetuar a primeira etapa do processo de soldagem. Enquanto a válvula reguladora de alta pressão não está acionada.

Fase 2: Fase de forjamento do processo, quando o motor hidráulico parar o arduino através de sua programação desativa a válvula reguladora de baixa pressão e aciona a válvula reguladora de alta pressão para efetuar o recalque no material.

Esboço do circuito hidráulico motor pistões axiais.

O circuito hidráulico do motor Fig.(25), tem como objetivo controlar a rotação do motor para cada tipo de material. O controle da válvula reguladora de vazão é feito pelo arduino através da sua programação.

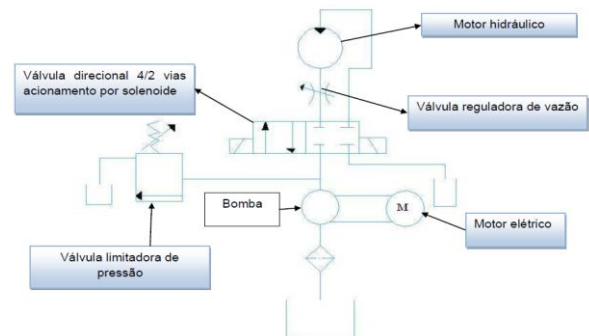


Figura 25. Esboço circuito hidráulico

A válvula responsável pelo controle de velocidade do motor hidráulico é a reguladora de vazão.

CONCLUSÃO

Disseminar processos não convencionais de soldagem é de fundamental importância para o desenvolvimento e melhoria dos produtos.

O projeto da máquina proposto traz várias melhorias sobre os projetos que foram analisados para o referencial do trabalho, como exemplo, a disposição do motor e cilindro hidráulico, que promoveram mudanças no sentido das solicitações das cargas, fazendo com que as mesmas reduzissem e eliminassem flambagem, flexões em pontos críticos e redução de componentes, ocasionando também redução da vibração do sistema e melhora na ergonomia.

A simulação da estrutura foi realizada por análise de elementos finitos (não exposta no artigo devido a limitação do tamanho do mesmo por normas do congresso), obtendo resultados desejados, mantendo a integridade da mesma durante o funcionamento.

REFERÊNCIAS

- Brandi, Sérgio Duarte; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt Homem de., 1992“Soldagem: Processos e Metalurgia”.
- Cogo, Gabriel., , 2011“Processamento de pinos por atrito: Avaliação de características mecânicas e metalúrgicas de aços estruturais unidos pelo processo FTPW”, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Lopez, Facundo Sebastián., 2010 “Montagem e avaliação de uma máquina de solda por fricção” Rio Grande do Sul, Brasil.
- Norma AWS D1.1/D1.1. 1M:2010.
- Parker. “Tecnologia hidráulica industrial”,2014.
- REIS, Mara Nilza Estanislau., , 2009, Hidráulica e Pneumática. Contagem: PUC MINAS.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.