

Ensaio

Comparação entre lubrificantes pela verificação do atrito em alumínio e aço

O coeficiente de atrito é um parâmetro fundamental nos métodos baseados em modelos matemáticos – como a teoria das tiras ou elementos finitos – que determinam as variáveis atuantes no processo de conformação para alcançar resultados precisos. O método do anel é um teste quantitativo, relacionado às curvas de escoamento dos materiais, mostrando que o atrito está diretamente ligado à variação da geometria na compressão. O atrito tem um efeito significativo na deformação do material, alterando a força de compactação e o desgaste da relação ferramenta-peça. Neste ensaio, foi empregado o teste de compressão usando o método do anel para a liga de alumínio AA6051 e o aço SAE8640. A análise procurou relacionar a variação das dimensões dos dois materiais para obter seus coeficientes de atrito, buscando uma comparação simples entre dois lubrificantes.

V. Martins e L. Schaeffer

O conhecimento do coeficiente de atrito é de extrema importância para o desenvolvimento do processo de forjamento, tornando-o mais competitivo e eficiente e propiciando benefícios quanto ao custo final do produto, o que pode ser aplicado também a processos de conformação. Sabendo da importância do coeficiente de atrito para os processos de conformação, salientamos também a fundamental necessidade de um

bom lubrificante que atenda às condições de trabalho. Com lubrificação adequada é possível diminuir o desgaste da interface ferramenta-peça, reduzir a possibilidade de peças defeituosas, com dobras ou incompletas, e reduzir as cargas de forjamento – sua função mais importante –, melhorando o acabamento superficial das peças.

A definição de atrito para o ASM Metals Handbook⁽¹⁾ é “a resistência ao movimento de um

corpo sobre o outro”. Pois o coeficiente de atrito é um indicador adimensional, que expressa a oposição atuante entre as superfícies de dois corpos em contato, durante o deslizar de um em relação ao outro. No caso do ensaio do anel, isto acontece entre o corpo-de-prova e as ferramentas planas. O valor do coeficiente de atrito é característico de cada par de materiais, e não uma propriedade intrínseca do material. Ele depende de muitos fatores, tais como a velocidade relativa entre as superfícies, o acabamento superficial em contato, o lubri-

Vinicius Martins (vinciushiper@yahoo.com.br) é mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Lírio Schaeffer é professor titular da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da UFRGS. Reprodução autorizada pelos autores.

Ensaio

ficante utilizado no ensaio ou no processo de conformação, temperatura, tempo de contato e outros.

A importância da busca por um coeficiente de atrito mais preciso para a alimentação de métodos avançados, baseados em modelos matemáticos, como a teoria das tiras, do limite superior, elementos finitos, entre outros, está na obtenção de resultados mais precisos e coerentes com a realidade, aperfeiçoando os métodos empregados. O atrito tem muitas desvantagens, como a exigência de uma maior força de conformação, a contribuição para o desgaste prematuro das ferramentas, o aumento da temperatura do sistema e a necessidade de maior energia envolvida no processo. Entretanto, ele também oferece algumas vantagens ao processo de conformação, visto que na laminação o atrito é o responsável pelo agarramento da barra pelos cilindros laminadores, e no forjamento o

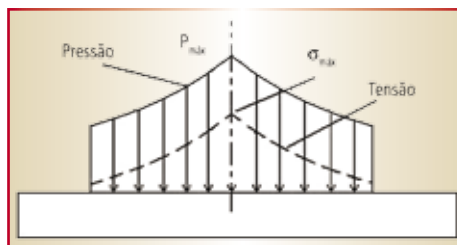


Fig. 1 – Distribuição de pressão e tensão para um corpo-de-prova comprimido entre placas⁽⁵⁾

atrito é interessante em alguns casos, pois pode promover uma microestrutura diferenciada na superfície da peça, bem como assegurar um bom preenchimento das cavidades⁽²⁾.

A evolução do método de forjamento impôs novos requisitos ao processo, como grandes deformações, precisão dimensional da peça final e baixo custo, de modo que é muito importante o conhecimento do coeficiente de atrito para obter o controle sobre o processo, por meio da lubrificação apropriada para cada material. Esta lubrificação visa a uma melhor condição de processo, a fim de amenizar os efeitos do atrito, criando um filme lubrificante (baixa tensão

de cisalhamento) na interface matriz-peça, principalmente durante o forjamento de peças complexas, de novas ligas metálicas ou, ainda, durante o forjamento de precisão ou forjamento experimental.

Os lubrificantes, de maneira geral, devem apresentar características especiais para proporcionar uma boa lubrificação durante o processo. Estas características ajudam na melhora e evolução do processo, pois quanto menor for o atrito, melhor será a qualidade superficial da peça forjada e menor será o desgaste do ferramental. Tendo em vista estes aspectos, é necessário avaliar os lubrificantes pela quantificação do atrito, a fim de determinar a qualidade de um lubrificante utilizado em uma situação, e se o mesmo é adequado a um material em certa temperatura.

Estudos^(1,6,7,8,9,10,11) mostram que a temperatura determina qual lubrificante deve ser empre-



Modelo	Capacidade de Corte RC** (mm)	Separar (mm)
CM39	6	15
CM52	12	30
CM82	20	40
CM102	25	45
CM152	30	50

** Recomendável



CM 152

NOVA LINHA
CUTMASTER
2009

SOLUÇÃO COMPLETA
EM PLASMA DE
ALTO DESEMPENHO
MANUAL E MECANIZADO

by

THERMAL DYNAMICS

SUMIG III
EQUIPAMENTOS

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA O BRASIL

WWW.SUMIG.COM.BR - FONE (54) 3220 3900

CM 39

CM 52

CM 82

CM 102

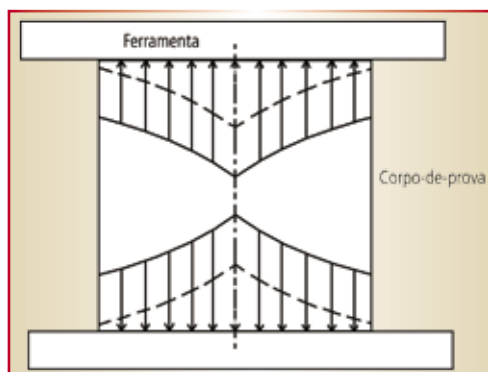


Fig. 2 – Esquema mostra o corpo-de-prova no início da compressão

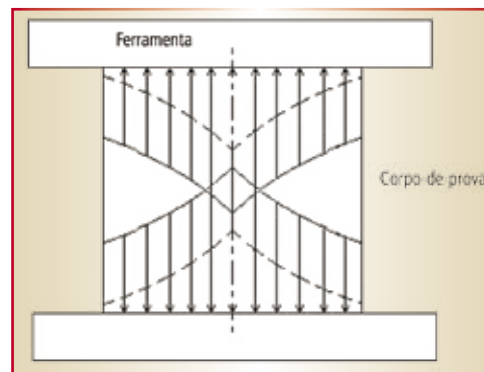


Fig. 3 – Exemplo de um corpo-de-prova com grande deformação e regiões cruzadas

gado, devido principalmente aos seus efeitos sobre a viscosidade e a formação de óxidos na superfície do material, bem como sobre a velocidade e o grau de deformação do mesmo. Estes parâmetros podem apresentar variações que ajudam a definir as condições mais econômicas ou as de melhor qualidade, fundamentais para o processo produtivo.

Fundamentação teórica

O atrito interfacial de dois materiais ou de um material em relação a uma ferramenta de conformação pode ser quantificado em termos de um fator ou coeficiente de atrito. Usualmente, o coeficiente é representado com a letra grega μ ($\mu\mu$). A força de atrito cinética (F_a) da fundamen-

tação física de Newton e Coulomb serve de base a realização dos cálculos. Sendo N a força normal, a equação da força de atrito⁽³⁾ é:

$$F_a = \mu_c N \quad (1)$$

Passando da força de atrito para tensão de cisalhamento de atrito (τ) e da força normal para a



FMS - Centro Automatizado de Corte laser



P4 centro automatizado de dobra

EXECUÇÃO DE PROJETOS MECÂNICOS

TECNOLOGIA :: INOVAÇÃO :: EFICIÊNCIA

8 máquinas de Corte laser | Corte com punçoneira | Corte com guilhotina
Dobra CNC e automatizada | Solda Mig e Tig | Solda robotizada | Pintura pó e líquida
Usinagem com centro e torno CNC | Montagens em geral | Sistemas Kanban para clientes

SAZI
PEÇAS LASER



Caldeirinox Indústria e Comércio Ltda



Caldeiraria.

Tanques; Silos;

Torres; Fornos;

Dutos; Comportas;

Precipitadores;

Filtros manga;

Estruturas

Metálicas;

Equipamentos

para Área

automobilística:

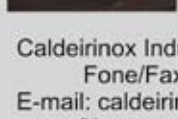
- Cabine de

pintura (inox)

- Lavadores (inox)

Corte, Dobra e

Calandra.



Caldeirinox Indústria e Comércio Ltda.

Fone/Fax: 014-3342-1616

E-mail: caldeirinox@caldeirinox.com.br

Site: www.caldeirinox.com.br



36 anos no mercado produzindo

- Reguladores de pressão (cilindros, centrais e painéis)
- Válvulas para cilindros, cestas e de manobra
- Equipamentos para gases



www.itaindustrial.com.br

Tel: (11) 4785-8000

vendas@itaindustrial.com.br

Estr. do Gramado, 290 - Embu - SP



Ensaio

tensão normal, a equação é normalmente expressa⁽⁴⁾ conforme a Lei do Atrito de Coulomb, por:

$$\tau = \sigma_n \mu \quad (2)$$

A equação 2 mostra que a tensão de cisalhamento é proporcional à componente da tensão normal (σ_n), na interface matriz/material com relação ao "coeficiente" de atrito (μ ou m). A tensão de cisalhamento do atrito também pode ser expressa por⁽⁴⁾:

$$\tau = \frac{m}{\sqrt{3}} k_f \quad (3)$$

A equação 3 expressa τ em função da tensão de escoamento do material (K_f) e do fator de cisalhamento do atrito m . A determinação experimental do coeficiente de atrito (m) ou do fator de cisalhamento do atrito (μ) é realizada por meio de um ensaio de compressão aplicado a um corpo-de-prova do material que se deseja conhecer⁽⁴⁾.

O ensaio de compressão mostra⁽⁵⁾ que durante a compressão de um material, este se expandirá na direção radial, entre as placas. Considerando um corpo-de-prova cilíndrico, haverá um contato facial entre o corpo-de-prova e a placa da máquina, gerando uma resistência que se opõe ao escoamento do material, do centro para as extremidades. A figura 1 (pág. 46)⁽⁵⁾ exibe a distribuição de pressão e de tensão longitudinal, onde se observa que a pressão e a tensão atingem valor máximo no centro da amostra. Assim, ao comprimirmos um corpo-de-prova com grandes de-

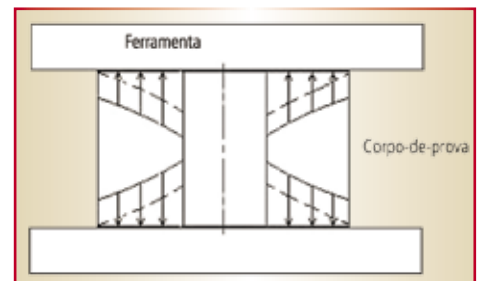


Fig. 4 – Um corpo-de-prova com formato anelar não cruza regiões de tensão e pressão

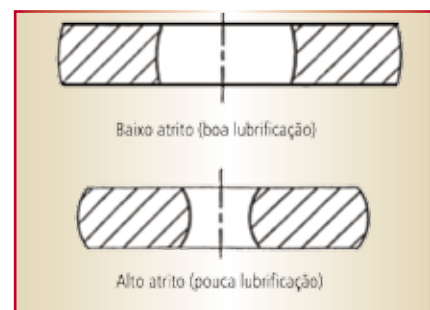


Fig. 5 – Efeito do atrito no fluxo do metal durante o teste de compressão do anel⁽⁶⁾

formações, estas propriedades se cruzariam, aumentando a força para uma pequena deformação e trazendo um resultado errôneo, como mostram as figuras 2 e 3 (pág. 47).

O ensaio de compressão de um anel com dimensões inicialmente conhecidas, como seu diâmetro externo, diâmetro interno e espessura, é chamado "Teste do anel", e serve para determinar o coeficiente de atrito, eliminando a possibilidade de que regiões de pressão e tensão se cruzem, como exibe a figura 4.



Fig. 6 – Anéis deformados em ensaio de compressão⁽²⁾

Ensaio

Existe uma característica qualitativa muito clara no teste do anel, em relação ao atrito interfacial matriz/peças. Se o atrito for alto, o diâmetro interno diminui em relação ao raio neutro à medida que o anel é deformado e, se a condição de atrito for baixa, o diâmetro interno aumenta em relação ao raio neutro à medida que o anel é deformado. Na figura 5 (pág. 48) é apresentado o modo como o fluxo do material se comporta durante a compressão do anel no ensaio, mostrando ainda a relação atrito/lubrificação⁽⁶⁾. A figura 6 (pág. 48)⁽²⁾ exibe a característica mencionada acima, que mostra primeiramente o anel inicial (a), em seguida o anel deformado com atrito alto (b) e, por último, o anel deformado com atrito baixo (c).



Fig. 7 – Corpos-de-prova utilizados

Nas últimas quatro décadas, o ensaio do anel vem se tornando cada vez mais importante para a quantificação do coeficiente de atrito para diversos materiais, com o auxílio da simulação computacional baseada nas malhas de

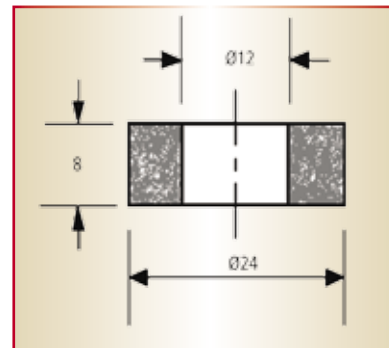


Fig. 8 – Dimensões dos corpos-de-prova

elementos finitos^(7;8). Isto ocorre porque, ao se determinar o atrito que tem um efeito significativo na deformação do material, pode-se melhorar a lubrificidade entre as ferramentas e a geratriz, o que tem influência na força de compactação, no revestimento da superfície do componente e até mesmo no desgaste da ferramenta.

SANTA RITA
EQUIPAMENTOS

Tecnologia em corte, dobra e máquinas especiais.

- Precisão no curvamento garantida através da geometria do equipamento;
- Assistência técnica permanente;
- Opcionais sob consulta.

Rod. Anhanguera, km 147 - Limeira - SP - Tel. (19) 3451.6621
contato@santaritaequipamentos.com.br | www.santaritaequipamentos.com.br

SEU PRODUTO COM NOSSA CLASSE

A maior fábrica de Buchas de Metal Duro da América Latina.

HARDY Metalúrgica

Produzimos nas classes:
G30 - G40 - G50 e G60

vgl@hardym.com.br
www.hardymetalurgica.com.br
Fone: 11 2413-3578
Guarulhos - São Paulo

Uma empresa do Grupo DMCD



Fig. 9a - Lubrificante em spray Aerodag



Fig. 9b - Lubrificante em fita de Teflon



Fig. 10 - Sistema de aquisição de dados Spyder 8, com o software Catman Express 3.1

Para prognosticar o fluxo do material durante a deformação plástica e as propriedades dos materiais finais do produto, devem ser desenvolvidas⁽⁸⁾ descrições adequadas de como ambos geram as curvas de tensão e os coeficientes de atrito. Isto mostra que o ensaio

de compressão do anel é um método amplo para determinação do atrito e suas influências, pois apresenta a vantagem de não considerar a força necessária para deformar o anel. É necessário que a máquina de ensaios permita deformá-lo e seja possível contro-

lar esta deformação para que o aumento ou a diminuição relativa do diâmetro interno do anel seja comparado com a diminuição relativa da espessura do anel.

Para se obter o valor do atrito, a redução percentual do raio interno em relação à redução percentual de espessura deve ser comparada

Centro de
Serviços

COPERFIL

PRODUTOS SIDERÚRGICOS | SOLUÇÕES EM CORTE E DOBRA | CORTE A LASER DE METAIS

Armazenagem



Corte Transversal
e Blanks



Dobra CNC



Corte Longitudinal
Slitter



Corte a Laser



Expedição



- Dobra CNC
- Solda
- Montagem
- Perfilação
- Corte Longitudinal - Slitter
- Corte Transversal
- Corte em Blank
- Corte a Laser de Metais

Av. Dr. Hipólito Pinto Ribeiro, 121 | CXP 225
CEP 13486-317 | Limeira-SP
+55 (19) 3446-7777 | info@coperfil.com.br

Em 2009 implantação
da ISO TS 16949
Acesse:
www.coperfil.com.br



EXPERIÊNCIA, CRIATIVIDADE
E TECNOLOGIA NA MEDIDA
CERTA PARA SUA EMPRESA



Perfiladeiras,
automatizações e
dispositivos auxiliares.

PRODUTO DA
SINEMO
PLM SOFTWARE
SOLID EDGE
VELOCITY SERIES



▪ Cilindros para qualquer marca de perfiladeiras

FIorentini

fiorentini@fiorentini.com.br - www.fiorentini.com.br

Tel.: (11) 2918-2931 / 2301-3655

**CALDEIRARIA, CORTE
A LASER E DOBRA**



Montagem Solda (TIG/MIG)
Fornecimento e serviços em aço
inox, alumínio e aço carbono



Corte a Laser
Aço carbono e inox



Dobra CNC



Estamos cadastrando
representantes

Filaqua Laser Ltda.

Tel.: 11 4813-8800

Fax: 11 4813-8803

www.filaqualaser.com.br

Ensaio



Fig. 11 – Bases cerâmicas sobre a célula de carga



Fig. 12 – Corpo-de-prova entre as bases

com “curvas de calibração”, traçadas para determinados valores de atrito e obtidas por meio de análises teóricas que simulam o fluxo de material durante a compressão, descrevendo o abaulamento do corpo-de-prova para determinados valores de atrito.

A usinagem apresenta a melhor relação custo-benefício para o processo de fabricação dos anéis para os ensaios. Deve-se ter um bom controle sobre o seu acabamento superficial, pois mesmo com uma superfície plana aparentemente lisa, em escala microscópica o material poderá ter aparência áspera; tendo isto em vista, deve-se buscar a menor rugosidade possível, a fim de obter os melhores resultados⁽⁹⁾.

O ensaio do anel mostra uma característica visual da relação anel/atrito, pois quanto maior for o atrito interfacial, maior será o efeito de embar-

rilhamento na secção transversal do anel, independentemente do material dúctil comprimido^(10;11).

Já os lubrificantes, de uma maneira geral, devem apresentar as seguintes características e desempenhar algumas funções, que podem ser⁽¹²⁾:

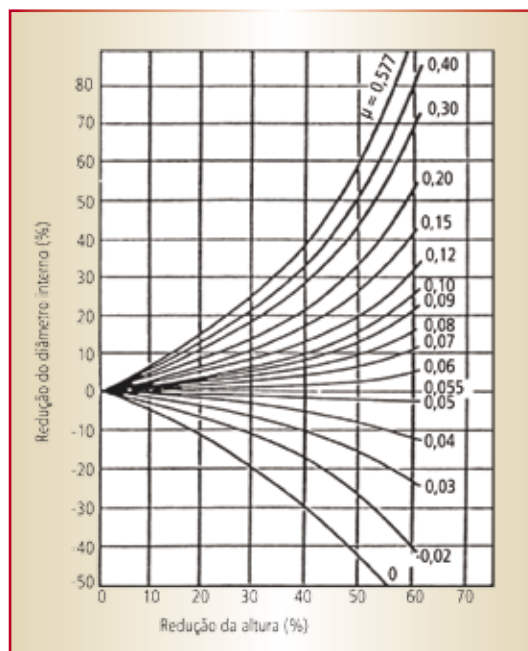


Fig. 13 – Curvas de calibração do atrito em função de μ ⁽⁹⁾

Ensaio

Tab. 1 – Dados do ensaio do teste do anel

Alumínio AA6051 com Teflon									
h_0	Dint.	Dint.	Média dint.	Dext.	Dext.	Média dext.	Força	Var. dint.	Var. h
8	12	12	12	24	24	24	0	0%	0%
6,4	12,5	12,5	12,5	27	27	27	266	-4,17%	20%
4,8	13	13,3	13,15	30,8	30,5	30,65	419	-9,58%	40%
3,6	13,3	13,9	13,6	34,5	35,3	34,9	552	-13,33%	55%
Alumínio AA6051 com Aerodag									
h_0	Dint.	Dint.	Média dint.	Dext.	Dext.	Média dext.	Força	Var. dint.	Var. h
8	12,1	12,1	12,1	24	24	24	0	0%	0%
6,6	12,3	12,4	12,35	25,8	26	25,9	258	-2,07%	17,5%
5,2	12,6	13	12,8	28,8	29	28,9	363	-5,79%	35%
3,9	13	14,7	13,85	32,6	34	33,3	603	-14,46%	51,25%
Aço SAE 8640 com Teflon									
h_0	Dint.	Dint.	Média dint.	Dext.	Dext.	Média dext.	Força	Var. dint.	Var. h
8	12,5	12,5	12,5	24	24	24	0	0%	0%
6,6	13,6	13,5	13,55	26,4	26,4	26,4	911	-8,4%	17,5%
5,2	14,3	14,3	14,3	29,2	29,5	29,35	1.279	-14,4%	35%
4	14,9	14,8	14,85	32	33,4	32,7	5.236	-18,8%	50%
Aço SAE 8640 com Aerodag									
h_0	Dint.	Dint.	Média dint.	Dext.	Dext.	Média dext.	Força	Var. dint.	Var. h
8	12,5	12,5	12,5	23,9	23,9	23,9	0	0%	0%
6,9	13,4	13,4	13,4	25,7	26	25,85	850	-7,2%	13,75%
5,4	13,6	14,5	14,05	28,5	28,8	28,65	1.206	-12,4%	32,5%
3,6	13,6	15,2	14,4	34,8	36	35,4	5.236	-15,2%	55%

- a) Agir como um agente na prevenção da aderência da peça na matriz;
- b) Possuir boas propriedades de isolamento, evitando perdas de calor, especialmente no forjamento a quente;
- c) Ser inerte para prevenir ou reduzir reações entre a matriz e a peça sob as temperaturas empregadas;
- d) Não ser abrasivo, reduzindo a erosão na superfície da matriz e evitando o desgaste excessivo;
- e) Ser livre de componentes poluidores ou venenos, não produzindo gases que ponham em risco a saúde dos operadores ou o meio ambiente;
- f) Ser facilmente aplicável e removível da peça e da matriz;

MESA DE CORTE PLASMA CNC



femcor®

A melhor relação peso/potência do mercado, conferindo alta produtividade e excelente custo-benefício.

baw
SOLUÇÕES PARA PROCESSOS DE CORTE PLASMA

BAW Brasil Ind. e Com. Ltda.

Rua Humberto Zanoni, 111 - Caxias do Sul-RS
Fone/Fax: (54) 3226.3232 - info@baw.com.br



Distribuidor Autorizado
Hypertherm

Fontes Plasma de Alta-Definição
Fontes Manuais
Consumíveis Originais



Para maiores informações, contate-nos e visite nosso site.

www.baw.com.br

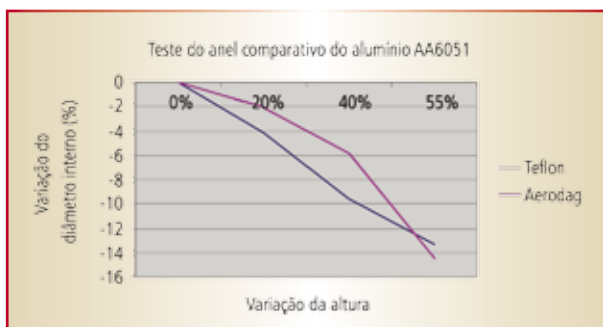


Fig. 14 – Resultados do teste do anel para variação do diâmetro x altura

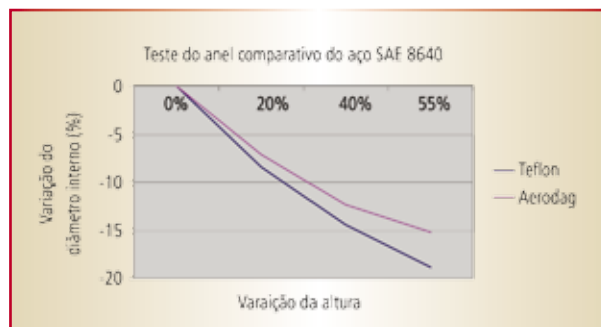


Fig. 15 – Resultados do teste do anel para variação do diâmetro x altura

g) Ser comercialmente disponível a um custo acessível.

Geralmente é difícil atender todas estas exigências, e não existe método que possa avaliar todas elas⁽¹²⁾. Entretanto, pode-se quantificar a condição de lubrificidade de um determinado lubrificante sob determinadas condições, de forma que os valores obtidos sejam empregados na melhoria do processo de conformação empregado.

É fundamental que os lubrificantes permitam que se obtenha um nível baixo de atrito, que não dependa dos parâmetros típicos dos processos de conformação, reduzindo o número de aspectos necessários de controle de um processo produtivo. Uma lubrificação eficiente tem um papel direto na medição do coeficiente de atrito da relação material/ferramenta⁽¹²⁾.

Dentre os fatores que influenciam o atrito, destacam-se^(7;12):

- Viscosidade do lubrificante e velocidade de deformação;
- Temperatura;
- Rugosidade da ferramenta;
- Deformação.

Procedimento experimental

Foram feitos corpos-de-prova de liga de alumínio ABNT 6061 F e aço SAE 8640, como mostra a figura 7 (pág. 50), com as dimensões mostradas na figura 8 (pág. 50),

LINHA CIH

Maior calandra fabricada no Brasil



Dimensões da Chapa

Espessura 100 mm
Largura 1.500 mm
Diâmetro 1.000 mm

Medidas máximas:

MODELO	Capacidade - mm		Ø dos rolos - mm		Motor CV	Peso aprox. Kg
	Largura	Espessura Calandra Inicial	Superior	Inferiores		
CIH 30100	3.000	100 63	860	750	200	115.000
CIH 3075	3.000	75 50	600	540	100	56.000



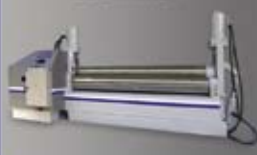
CIP 2525
Calandra Inicial Piramidal
2.500mm x 1"



CIE 2010
Calandra Inicial Elástica
2.000mm x 3/8"



CPH 2519
Calandra Piramidal Hidráulica
2.500mm x 3/4"



CPM 2006
Calandra Piramidal Molotizada
2.000mm x 1/4"



CPHI 2519
Calandra Piramidal Hidráulica Inicial
2.500mm x 1"



CIEH 2510
Calandra Inicial Elétra Hidráulica
2.500mm x 3/8"



A mais completa linha de calandras fabricadas no Brasil.

CALFRAN
CALFRAN INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

(19) 3856-4066
calfran@calfran.com.br
www.calfran.com.br

Ensaio



Fig. 16 – Resultados do teste do anel para variação do diâmetro x altura

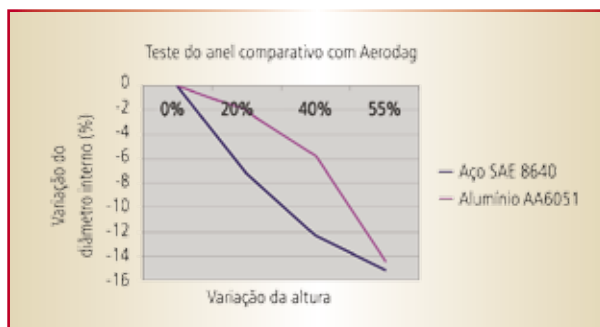


Fig. 17 – Resultados do teste do anel para variação do diâmetro x altura

determinando um anel de proporções 6:3:2, em número suficiente para ensaiar duas condições de contato: a) lubrificante em fita de Teflon e b) lubrificante em *spray* Aerodag, da empresa Acheson do Brasil (como mostram as figuras 9a e 9b, pág. 51).

Os ensaios foram realizados sob temperatura ambiente, em uma prensa hidráulica de 2.940 kN controlada por uma bomba manual e com calibre de deformação nos valores de 20%, 40%, 55%, no Laboratório de Conformação Mecânica (LdTM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O punção inferior foi ligado a uma célula de carga calibrada, que enviava o sinal de força para o sistema de aquisição de dados modelo Spyder 8, juntamente com o *software* Catman Express 3.1, que adquire os dados em função do tempo, como mostra a figura 10 (pág. 51).

A compressão foi realizada com duas bases de carbetto de silício, material utilizável em ferramentas de extrusão, criando uma interface entre o material que está sendo conformado e o material cerâmico. Estas bases

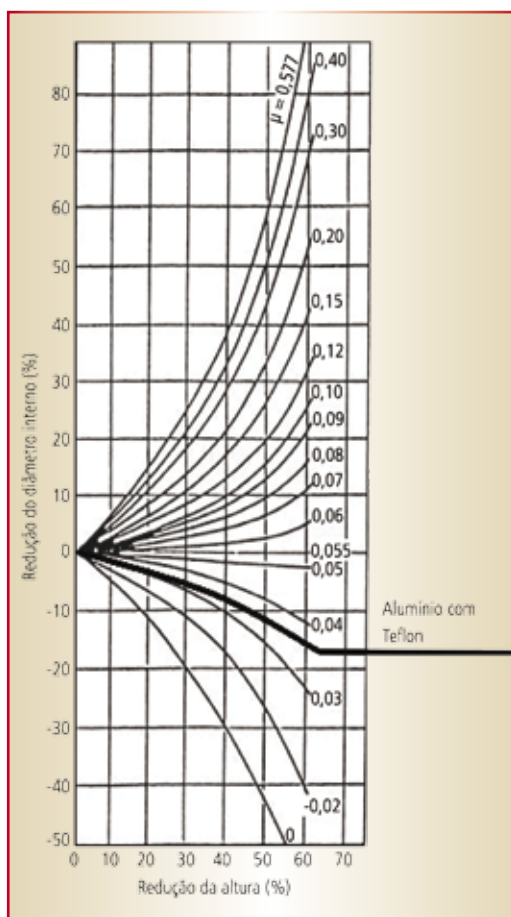


Fig. 18 – Coeficiente de atrito de 0,037

cerâmicas ficaram entre a base superior da prensa hidráulica manual e a célula de carga para 80 tf, como aparece nas figuras 11 e 12 (pág. 52), que foram tiradas no primeiro ensaio com o alumínio e o Teflon.

O valor do coeficiente de atrito foi obtido por meio da redução percentual do raio interno em relação à redução percentual de espessura. Esta relação deve ser comparada com “curvas de calibração” (figura 13, pág. 52) traçadas para determinados valores de atrito em análises teóricas que simulam o fluxo de material durante a compressão. Na figura 13 podem-se verificar os valores de atrito, estabelecendo uma relação com a variação do diâmetro interno e da altura do anel. Os dados foram medidos em duas direções, uma perpendicular à outra, para tentar reduzir a possibilidade de erro, e a partir destes valores foi calculada uma média simples. Os corpos-de-prova de aço ficaram com diâmetro 0,5 mm maior do que o esperado, mas foram considerados válidos devido ao fato de estarem concêntricos, terem a mesma tolerância dimensional entre eles, e também terem seus dados calculados percentualmente.

Os dados das dimensões e valores obtidos no teste do anel estão na tabela 1 (pág. 54) para os anéis de aço SAE 8640 e de liga de alumínio AA6051, com a lubrificação

Ensaio

do Aerodag e do Teflon. Esta variação de altura (h) e de diâmetro (ϕ) encontrada na tabela 1 foi obtida por meio das equações 4 e 5. Para verificar a variação do diâmetro interno, utiliza-se a equação 4:

$$\Delta\phi = -100 \left(\frac{D - D_0}{D_0} \right) \quad (4)$$

onde $\Delta\phi$, D e D_0 são, respectivamente, variação do diâmetro, diâmetro final e diâmetro inicial. Para a verificação da variação da altura (h), utiliza-se a equação 5:

$$\Delta h = -100 \left(\frac{h - h_0}{h_0} \right) \quad (5)$$

onde Δh , h e h_0 são, respectivamente, variação da altura, altura final e altura inicial.

Resultados

A partir das dimensões do modelo deformado, foram obtidos os valores da tabela 1, e com eles foram traçadas curvas em

planilhas do *software* Excel. Foram obtidos dois gráficos comparando o desempenho do Aerodag e do Teflon® em relação à liga de alumínio AA6051 e ao aço SAE 8640, e depois outros dois gráficos analisando a diferença entre o comportamento dos materiais em relação aos lubrificantes, visando determinar o valor de atrito por comparação com as curvas calibradas. Os resultados da análise comparativa são mostrados nas figuras 14 a 17 (págs. 55 e 56). Os dados relativos à força estão em kN.

Com os gráficos comparativos traçados, visando a análise e conclusão, foi feita a relação com as curvas de calibração dos materiais e lubrificantes, conforme as figuras 18 (pág. 56) e 19. Os coeficientes de atrito foram encontrados por meio das curvas de calibração, em função da variação percentual do diâmetro e da altura. Os anéis de aço SAE 8640 lubrificadas com

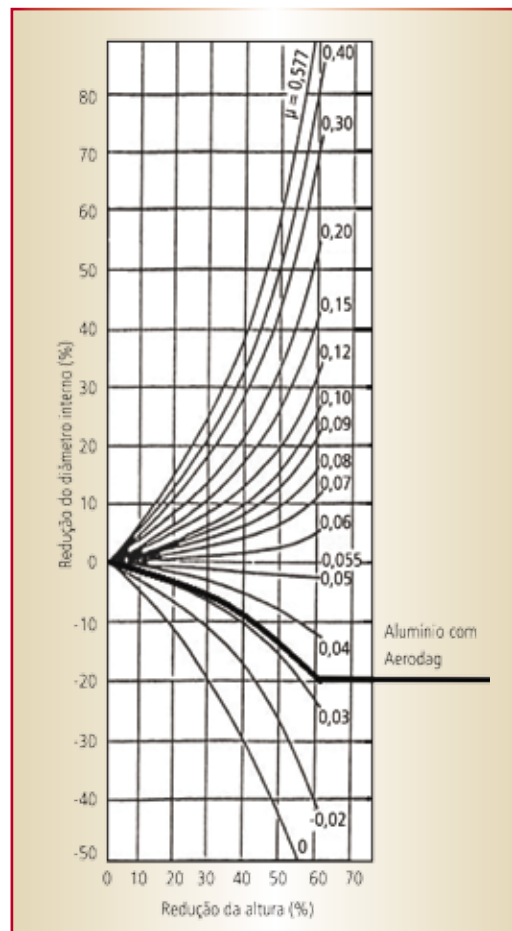


Fig. 19 – Coeficiente de atrito de 0,033

Teflon e com Aerodag variaram aproximadamente 0,028 e 0,032, respectivamente. Os anéis de liga de alumínio AA6051 lubrificadas



Simulações e projetos de estampo
Construção de estampos progressivos e modulares
Estamparia de peças para linha branca e automobilística.

Seu produto em boas mãos.





Rua Botafogo - N.º.494 - Itaum - CEP.89.210-050 - Joinville - Santa Catarina - SC.
Fone/Fax: 55 (47) 3435-3036 - www.kawaco.com.br - kawaco@kawaco.com.br

com Teflon e com Aerodag variaram aproximadamente 0,037 e 0,033, respectivamente.

Empregando os valores obtidos a partir da equação 3, sabe-se qual é a tensão de cisalhamento do atrito para o aço SAE 8640 e a liga de alumínio AA6051, com seus respectivos coeficientes, de acordo com cada um dos lubrificantes. Considerando que a tensão de escoamento (K_f) do alumínio a frio é de 180 N/mm^2 ⁽⁶⁾ e o coeficiente de atrito é de 0,037, este material lubrificado com Teflon terá valor de $3,8452 \text{ N/mm}^2$.

Utilizando a mesma metodologia acima, descobrimos que a tensão de cisalhamento do atrito da liga de alumínio AA6051 para o lubrificante Aerodag é de $3,4295 \text{ N/mm}^2$. Isto nos mostra que, conhecendo o coeficien-

te de atrito de um material, é possível descobrir a sua força de atrito. Os gráficos das figuras 22 a 25 (págs. 62 e 63) mostram que a força está diretamente ligada às propriedades físicas do material e não sofre influência do lubrificante durante sua conformação, sendo uma propriedade à parte do ensaio do anel.

Discussão dos resultados

Buscando comparar duas qualidades de lubrificantes comerciais disponíveis e recomendados para o forjamento de dois materiais, foi realizada a análise de variância dos parâmetros (diâmetro interno e altura) do ensaio do anel, observando a sua influência sobre o aumento do raio interno. O ensaio do anel mostra um signifi-

cativo aumento do raio interno do anel (valor negativo) nos dois materiais, indicando que o atrito é baixo e que, portanto, o lubrificante apresenta um desempenho satisfatório na redução do atrito interfacial entre a matriz e a peça ensaiada e na deformação linear da altura, estudada nos ensaios com o método do anel.

Os baixos coeficientes de atrito se devem ao fato de que as bases de cerâmica empregadas no ensaio são lisas e polidas, além de que os corpos-de-prova tinham bom acabamento superficial, conseguido por usinagem. Somado a estas duas características, o baixo índice de rugosidade auxiliou na determinação do melhor lubrificante para o trabalho de conformação a frio do aço SAE

A marca da qualidade e da produtividade.

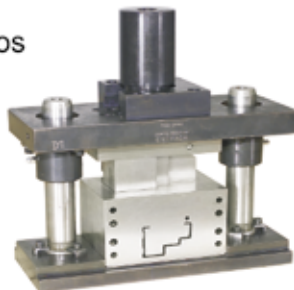
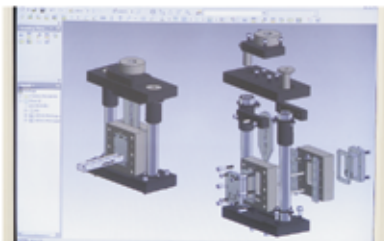
Perfiladeiras, ferramentais cilíndricos e ferramentas de corte e estampo.

Conheça a **Daltec**.

Desde o primeiro contato, a **Daltec** registra todos os passos necessários para que seus clientes sejam atendidos de forma total.

O processo de coleta de informação, elaboração de projetos e industrialização de equipamentos e ferramentais, é informatizado e acompanhado por engenheiros e técnicos especializados.

A produção é administrada através do **CAM** - Manufatura Assistida por Computador, o que proporciona eficiência, rapidez e qualidade ao processo.



Antes da Entrega Técnica ao cliente, todo equipamento **Daltec** e seus ferramentais passam por rigorosos Testes de Qualidade.



Fone: (17) 3242-3325 - Fax: (17) 3242-2426
Rua Tufi Madi, 17-62 - Bairro São José
CEP 15130-000 - Mirassol - SP - Brasil
www.daltec.ind.br

Ensaio

8640 e da liga de alumínio AA6051.

A melhor condição foi a do aço SAE 8640 lubrificado com Teflon, que obteve coeficiente de atrito de 0,028. A segunda melhor condição é a do mesmo material com lubrificação de Aerodag (0,032). No alumínio os lubrificantes se portaram de maneira inversa, sendo que o corpo-de-prova lubrificado com Aerodag obteve coeficiente de atrito melhor (0,033) do que com Teflon (0,037), ficando em terceiro e quarto lugares, respectivamente, no quesito coeficiente de atrito.

Esta variação de coeficiente acontece porque a qualidade do acabamento superficial da face de contato do anel da

liga de alumínio AA6051 é inferior ao acabamento da face respectiva do anel de aço SAE 8640, como pode ser visto na figura 7, pois os anéis do lado esquerdo são de alumínio e mostram riscos no sentido radial da face, diferentemente da face dos anéis de aço, que refletem a luz plenamente. Este resultado mostrou que, independentemente do lubrificante, o acabamento superficial tem importância, o que comprova o trabalho realizado por Sahin, Etinarslan e Akata⁽¹⁰⁾.

As figuras 22, 23, 24 e 25 mostram que a força é uma

propriedade independente para determinar o coeficiente de atrito, estando ligada diretamente às propriedades do material. No ensaio, a força é importante apenas para deformar o material, mas não influencia o teste.

Conclusões

Com base nos aspectos discutidos, conclui-se que o lubrificante Teflon apresentou maior estabilidade em comparação com o lubrificante Aerodag, frente a um bom acabamento superficial na função de

reduzir o atrito interfacial peça-ferramenta. Porém, o lubrificante Aerodag apresentou uma boa estabilidade em comparação com o Teflon quando o acabamento superficial da peça ensaiada deixou a desejar. Se levarmos em conta que é recomendável trabalhar com a melhor condição superficial possível, então o lubrificante Teflon se saiu melhor.

Além disso, foi possível concluir que:

- Os acabamentos superficiais das bases de ensaio e das peças influenciaram diretamente

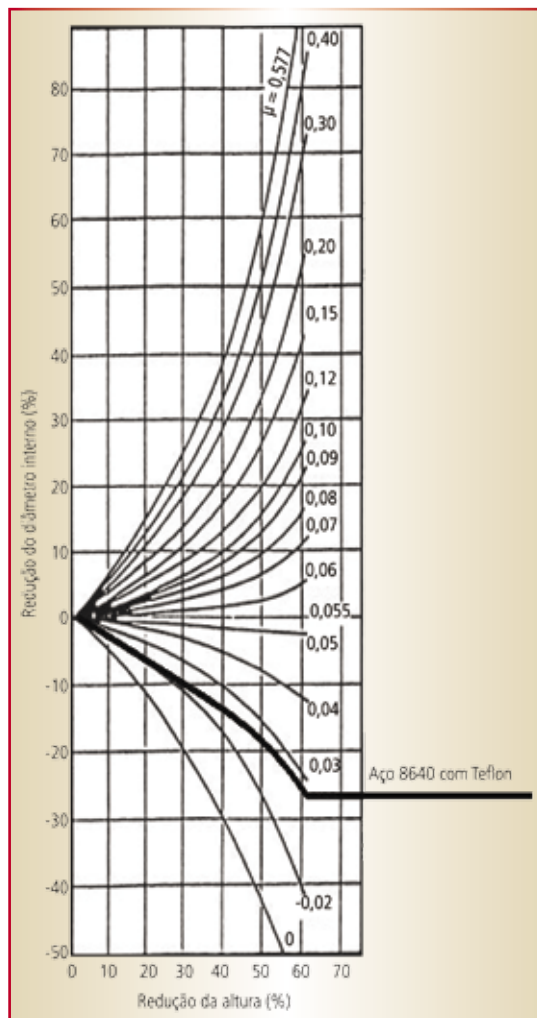


Fig. 20 – Coeficiente de atrito de 0,028

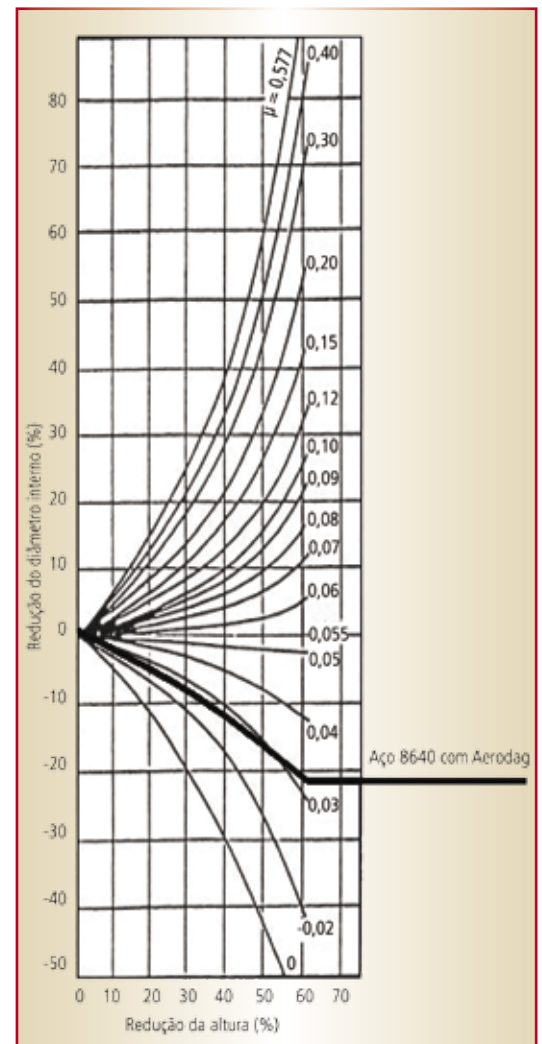


Fig. 21 – Coeficiente de atrito de 0,032

Ensaio

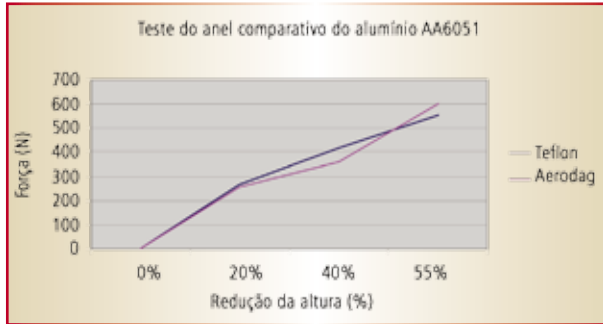


Fig. 22 – Resultados do teste do anel para variação da força x altura

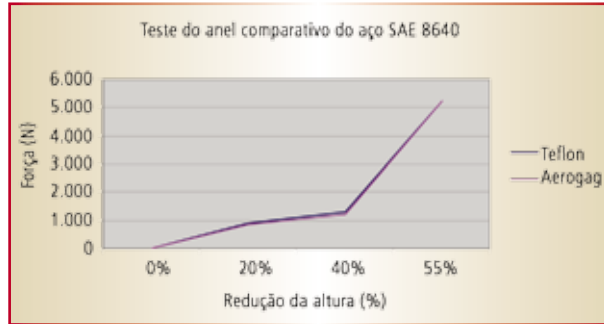


Fig. 23 – Resultados do teste do anel para variação da força x altura

a obtenção do coeficiente de atrito;

- A força é uma propriedade necessária apenas para deformar o material, mas não influencia o coeficiente de atrito;
- O ensaio do anel é um método prático, barato e extremamente eficaz da determinação desta propriedade do material.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Escola de Engenharia da UFRGS (LdTM).

Referências

- 1) ASM METALS HANDBOOK, vol. 18, p. 12.
- 2) SCHAEFFER, Lírio. *Forjamento - Introdução ao Processo*, 2ª Edição. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre, p. 26-59, 2006.

- 3) PARANÁ, Djalma Nunes. *Física Mecânica Volume1*, 2ª Edição. São Paulo: Ed Ática, p. 201-203, 1993.
- 4) SCHAEFFER, Lírio. *Conformação de Metais*. Porto Alegre: Ed. Rigel, p. 56-59, 1995.
- 5) GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C. A. *Ensaio dos Materiais*. São Paulo: LTC Editora, p. 49-53, 2000.
- 6) SOFUOGU, H. (a) e RASTY, J. (b). *On the measurement of friction coefficient utilizing the ring compression test*. (a) Department of Mechanical Engineering, Karadeniz Technical University,

A qualidade que o mundo já conhece, agora também no Brasil

DARDI

WATER JET

Mais de 1500 máquinas vendidas no mundo

MasterMaquinas

R. Lutécia, 1979 - São Paulo - SP - Tel.: +55 11 2295-9419
 mastermaquinas@mastermaquinas.com
 www.mastermaquinas.net

ALIMENTADORES PARA PRENSAS

- Desbobinadores • Endireitadores
- Alimentadores Pneumáticos e Eletrônicos
- Reforma e Manutenção de Máquinas
- Assistência Técnica Preventiva
- Oleadores

Mais uma vez em 1º lugar na preferência do mercado!

Monitor para Proteção de Ferramentas/Came Programável

Sistema de Troca Rápida de Ferramentas

Régua para Elevação e Transporte de Ferramentas

Grampos Hidráulicos para Fixação de Ferramentas

STAMPCO LIGUE: 011 5507-3636/4030

AS MELHORES SOLUÇÕES PARA AUTOMAÇÃO EM PRENSAS

www.stampco.com.br e-mail: vendas@stampco.com.br



Fig. 24 – Resultados do teste do anel para variação da força x altura

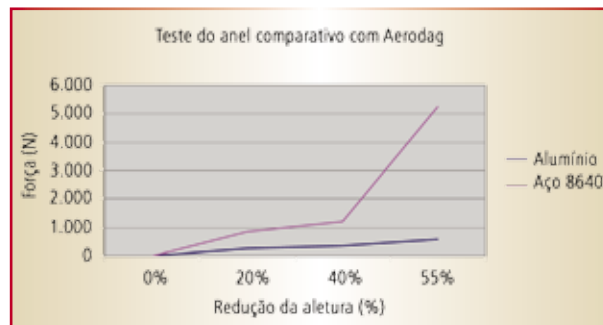


Fig. 25 – Resultados do teste do anel para variação da força x altura

- Trabzon (Turkey). (b) Department of Mechanical Engineering, Texas Tech University, Lubbock (EUA). Tribology International, August 1999.
- 7) RIBEIRO, J.D. *Avaliação do Atrito no Forjamento*, 1993. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia PPGEMM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- 8) ROBINSON, T., ARMSTRONG, C.G. Study on ring compression test using physical modelling and FE simulation. *Journal of Materials Processing Technology* v. 153-154, p. 54-59, 2004.
- 9) HAN, H. *Determination of Flow Stress and Coefficient of Friction for Extruded Anisotropic Materials under Cold Forming Conditions*. Division of Materials Forming Department of Production Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden, jan. 2002.
- 10) SAHIN, Mumin, et al. *Effect of surface roughness on friction coefficients during upsetting processes for different materials*. Department of Mechanical Engineering, Trakya University, Turkey.
- 11) MANISEKAR, K., NARAYANASAMY, R., MALAYAPPAN, S. *Effect of friction on barrelling in square billet of aluminium during cold upset forging*, *Materials and Design*. Department of Mechanical Engineering, National Engineering College (India) e Department of Production Engineering, National Institute of Technology (India).
- 12) ALTAN, T. et al. *Metal Forming Fundamentals and Applications*, Ed. Carnes Publications Services (EUA), p. 85-90, 1983.



Corte a Laser com velocidade e qualidade.
Conheça nossa linha de máquinas de 3m a 8m.

Máquinas Serie FL	
Tipo	Óptico Flutuante
Tamanho máx de chapa	3015 3048mm x 1524mm
	2512 2500mm x 1200mm
Peso máx de chapa	900 Kg
Velocidade máx de deslocamento	120m/min (Y); 150m/min (X)
Velocidade máx diagonal	192m/min
Aceleração	1.5G (14.7m/sec ²)
Precisão de posicionamento	± 0.1mm/3000mm
Repetibilidade	± 0.03mm
Potência	2500W; 3300W; 4000W; 6000W