

# A PRODUÇÃO DE ELETRODOS GIRANTES PARA SOLDAGEM EM LIGA COBRE-COBALTO-SILÍCIO <sup>(1)</sup>

SÉRGIO AUGUSTO DE SOUZA <sup>(2)</sup>

LUIZ C. CORRÊA DA SILVA <sup>(3)</sup>

## RESUMO

*O trabalho relata a experiência da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo na produção de eletrodos girantes em liga cobre-cobalto-silício, para utilização em máquinas de soldar. Os trabalhos realizados no I.P.T. visaram atender, no possível, às necessidades da indústria local e evitar a total dependência de importações.*

*Apresenta-se um resumo dos principais fatos e dados referentes aos eletrodos para máquinas de soldar. Descreve-se: a técnica de fundição dos anéis; o método de dimensionamento dos mesmos para conveniente forjamento posterior; a técnica de forjamento empregada e a execução dos tratamentos térmicos necessários. São apresentadas macro e micrografias visando ilustrar a estrutura dos eletrodos fundidos e forjados e dos eletrodos fundidos, forjados e tratados termicamente.*

## 1. INTRODUÇÃO

A Secção de Ligas Não-Ferrosas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas tem recebido, frequentemente, pedidos para confecção de anéis em liga de cobre de alta condutividade para serem usados como eletrodos girantes. Os pedidos variam quanto ao tamanho dos mesmos e quanto à liga, que pode ser de cobre-cromo, cobre-níquel-silício, cobre-cromo-silício ou cobre-cobalto-silício. Atualmente a primeira e a última das ligas mencionadas estão sendo preferidas, principalmente a liga cobre-cobalto-silício, que é objeto dêste trabalho.

(1) Contribuição Técnica N.º 537; apresentada ao XIX Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; São Paulo, julho de 1964.

(2) Membro da ABM, Engenheiro Responsável pela Secção de Ligas Não-Ferrosas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

(3) Membro da ABM, Professor e Engenheiro Chefe da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

A princípio, para atender os interessados, o processo usado era o de se fundir simplesmente as peças e entregá-las no estado bruto de fusão, para que aquêles fizessem os tratamentos térmicos necessários. Algumas peças apresentavam defeitos de fundição, tais como: bolhas, porosidades, inclusões de escória, trincas, sendo então, decidido mudar-se o processo de confecção dos aneis, passando-se a forjá-los, depois de fundidos convenientemente. Devido ao caráter especial dêste processo, relata-se aqui o estudo relativo às condições de fundição e de forjamento dêsses aneis.

## 2. CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA OS ELETRODOS

Um eletrodo girante para solda elétrica contínua de tubos, aplicação principal dêstes aneis, deve apresentar as seguintes propriedades<sup>1, 2</sup>:

- a) Dureza elevada, entre 120 e 200 Brinell;
- b) Dureza elevada mesmo a altas temperaturas;
- c) Condutibilidade elétrica e térmica elevadas;
- d) Boa resistência mecânica e
- e) Reduzida tendência de se fundir com as peças a serem soldadas. A isto, deve-se o grande desgaste a que o anel fica sujeito durante o seu uso.

## 3. TÉCNICA UTILIZADA NAS EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

A técnica utilizada consistiu nas seguintes operações: fundição dos aneis em areia, seguindo-se a rebarbação e forjamento dêsses aneis fundidos até as dimensões desejadas, de tal modo a garantir cêrca de 50% de redução na espessura; por fim, seguiram-se os tratamentos térmicos necessários.

No forjamento há naturalmente, uma variação dimensional de difícil previsão, sendo necessário estudá-la no decorrer da operação. Para facilitar o estudo, fundiu-se um anel menor que os que se tem feito habitualmente, mas cujas dimensões guardaram as mesmas proporções dimensionais que êstes.

O processo de forjamento foi realizado, medindo-se a espessura, o diâmetro interno e o diâmetro externo do anel em diversos estágios da operação. Para os objetivos dêste estudo considerou-se que uma deformação de 50% era satisfatória (diminuição da espessura do anel à metade da inicial). Esta deformação deve normalmente ser suficiente para assegurar o fechamento de bolhas e porosidades internas, bem como para promover uma estrutura mais fina em consequência de recristalização.

#### 4. EXPERIÊNCIAS REALIZADAS

Com a finalidade de melhor esclarecer o trabalho realizado, parece interessante apresentar um relato mais detalhado das duas primeiras experiências realizadas. É de notar, porém, que após essas experiências que visaram a obtenção de dados sobre o comportamento dos anéis no forjamento, foram produzidos com sucesso mais de dez anéis forjados, para atender a solicitações da indústria local. Os resultados de mais dois forjamentos são dados em tabela no fim do trabalho.

##### 4.1. — Primeira experiência

*Fundição* — O processo usado para fundição do anel a ser forjado não se diferenciou muito do utilizado habitualmente. As dimensões do modelo usado para a confecção do anel foram as seguintes:

Diâmetro externo (D): 53 cm

Diâmetro interno (d): 37 cm

Espessura: 10 cm

O molde foi feito com a seguinte areia:

Areia do mar . . . . . 60% (módulo de finura: 90 a 100 AFS)

Areia usada . . . . . 40% (módulo de finura: 90 a 100 AFS)

Argila . . . . . 4% da areia base

Mogul . . . . . 1,5% da areia base

Óleo + breu . . . . . 2% da areia base

Água . . . . . 5% da areia base

O molde foi estufado a cerca de 200°C durante duas horas, sendo depois colocado inclinado de mais ou menos 10° com relação à horizontal, para o vazamento (Figs. 1 e 2).

O sistema de alimentação está indicado nas Figuras 1 e 2. Foi feito um canal de descida oposto ao massalote; partindo deste canal, há 2 canais de distribuição cada um com 3 canais de ataque (de entrada). O massalote único ficou situado na parte mais alta do molde. Assim, conseguiu-se que o metal, ao entrar, percorresse todo o molde, nos dois sentidos e tangencialmente às paredes do mesmo, indo se encontrar praticamente no massalote. A inclinação dada serviu para ajudar a alimentação. As dimensões dos canais foram as seguintes:

Canal de descida .....	diâmetro de 4,5 cm.
Canal de distribuição e canais de ataque .....	largura de 6 cm e espessura de 2 cm.
Massalote .....	largura de 10 cm, espessura de 30 cm e comprimento de 15 cm
Junção do massalote à peça .	largura de 6 cm; espessura de 11,5 cm e comprimento de 6 cm

O molde foi pintado com mistura de grafita, dextrina, bentonita e água.

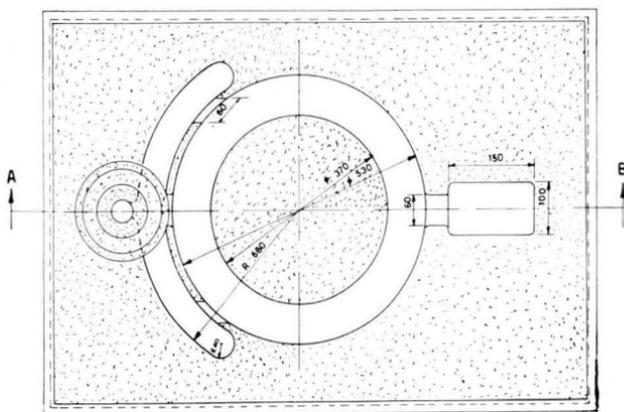


Fig. 1 — Molde e sistema de alimentação usado para a fundição do anel. Ver corte A-B na figura 2.

*Fusão da liga:* a liga fundida deveria ter a seguinte composição 2,5% Co; 0,5% Si e o restante cobre. Como as perdas por oxidação do cobalto e do silício são relativamente elevadas, adicionou-se um excesso de 0,5% Co e de 0,3% Si para compensá-las.

A preparação da liga procede-se habitualmente como segue: prepara-se primeiramente uma liga auxiliar (“liga-mãe”) de cobre com todo o cobalto e silício; funde-se o cobre, protegido da atmosfera por escória apropriada, para evitar excessiva oxidação do banho, embora este deva estar levemente oxidado a fim de se eliminar ou evitar a entrada de hidrogênio. Quando o cobre estiver fundido, adiciona-se a liga auxiliar, retira-se a escória e procede-se ao vazamento. A desoxidação da liga é feita pelo próprio silício da carga, o qual é colocado em excesso.

Na primeira experiência realizada aproveitou-se, porém, sucata de anéis defeituosos e de canais de corridas anteriores, usan-

do-se sòmente 50% de carga nova. Cobriu-se o banho com uma mistura de borax e vidro em cacos, para proteçãõ. Depois de fundida a carga e colocada a "liga-mãe", retirou-se a escória flúida e procedeu-se ao vazamento a 1200°C aproximadamente. Do forno (que no caso era um forno tipo Fisher, a óleo com cadinho de carborundum), vazou-se numa panela prêaquecida dotada de "bico de chaleira" para depois vazar-se no molde. A liga auxiliar foi preparada num forno de induçãõ, tipo Ajax, em cadinho de grafita.

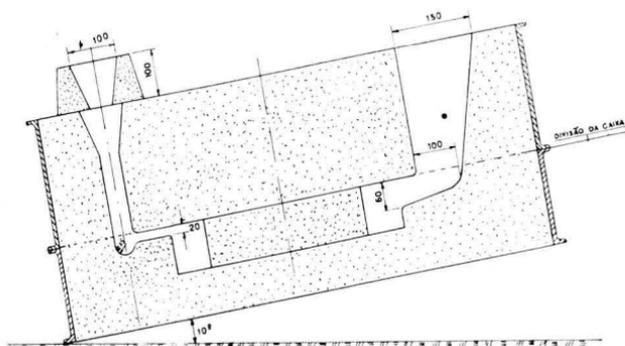


Fig. 2 — Corte A-B da figura anterior. Para o vazamento, o molde foi inclinado de cerca 10°.

Retiraram-se cavacos dos canais para análise química, a qual acusou 2,81% Co e 0,68% Si. Assim, verificou-se que basta um excesso de 0,2 a 0,3% Co e de 0,2% Si para que a liga final fique dentro da especificação. A dureza da peça simplesmente fundida foi de 47 Rockwell B.

As dimensões da peça fundida foram as seguintes:

Diâmetro interno (D): 53 cm

Diâmetro interno (d): 36 cm

Espessura: 9,9 cm

Defeitos e dificuldades observados:

- a) Aparecimento de "chupagem" na parte onde o massalote esteve unido à peça. Esta dificuldade foi vencida pelo uso de um massalote dotado de uma junção mais grossa e melhor dimensionado, conforme artigos especializados em cálculo de canais em ligas de cobre<sup>3, 4</sup>.
- b) Aparecimento de uma superfície rugosa e acidentada na parte onde o metal entrou na peça pelos canais de taque. Conseguiu-se melhorar muito o aspecto da superfície, colocando-se os canais de ataque tangenciais à peça.

c) A entrada de escória no molde foi evitada com o uso do "bico de chaleira" na panela de vazamento.

*Forjamento* — Depois de rebarbada a peça, ela foi encaminhada para o forjamento. Nesta primeira peça, procurou-se apenas verificar a sua forjabilidade e o modo como se deformava durante a operação.

Aqueceu-se o anel até cêrca de 900°C e forjou-se até uma espessura de 6 cm, medindo-se, então, os diâmetros interno e externo, de modo a se ter uma primeira idéia das deformações. A seguir, voltou o anel para o forno de aquecimento (forno aquecido a óleo com maçarico), a fim de reaquescê-lo a 900°C. For-

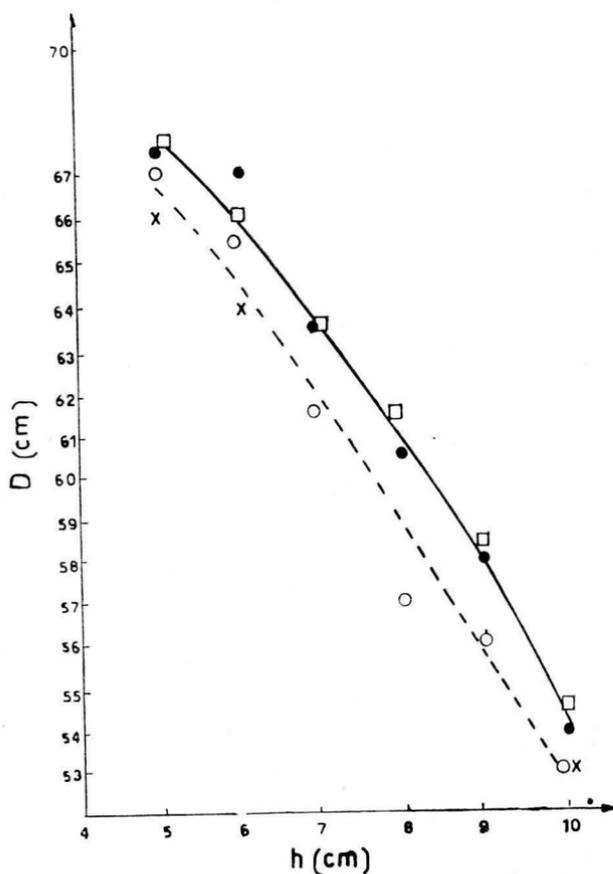


Fig. 3 — Variação do diâmetro externo em função da espessura no forjamento. Legendas:

- × — 1.ª experiência
- — 2.ª experiência
- — 3.ª experiência
- — 4.ª experiência

jou-se depois até uma espessura total de 5 cm e procedeu-se à medida dos diâmetros. Teve-se uma redução de 50% de forjamento. A tabela seguinte fornece os resultados.

Espessura (cm)	D (cm)	d (cm)
9,9 (inicial)	53	36
6,0	64	43
5,0	66	44,5

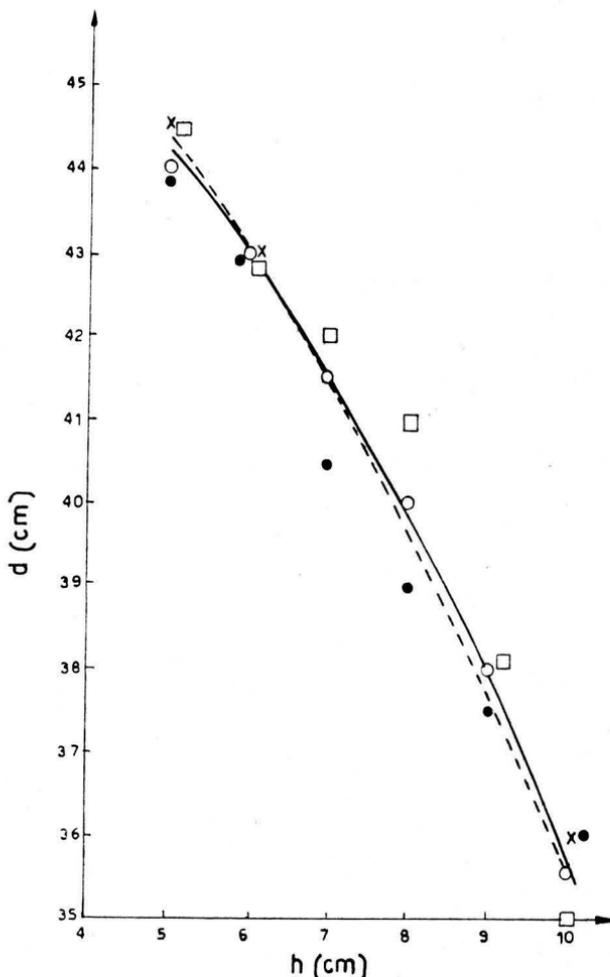


Fig. 4 — Variação do diâmetro interno em função da espessura no forjamento. Mesmas convenções da figura anterior.

A peça forjou bem, não apresentando empenamento, deixando apenas de permanecer perfeitamente redonda (as medidas dos diâmetros externo e interno corresponderam a médias de várias medidas, pois em certas regiões da peça houve maior ou menor alargamento). Isso deveu-se a forjamento não uniforme, forjando-se mais fortemente algumas partes e menos outras. Na região onde estava situado o massalote notou-se o início de uma trinca superficial, demonstrando ser essa uma região crítica.

Constatou-se, portanto, que a liga usada é perfeitamente forjável na temperatura inicial de 900°C e que, para se obter alargamento uniforme, não se deve usar o martelo de forja muito fortemente ou com pancadas desiguais. A dureza da peça forjada subiu para 52 Rockwell B.

*Tratamento Térmico* — Sendo esta questão muito crítica para o caso de ligas de cobre de alta condutividade, pois é o que determina praticamente as propriedades mais importantes para o uso da liga, será feito um estudo que tratará exclusivamente deste problema, e que será objeto de trabalho posterior. No entanto, convém citar os resultados obtidos.

Depois de forjada, a peça foi submetida a um tratamento de solubilização e precipitação. Estes tratamentos foram feitos da seguinte maneira:

- Solubilização: aqueceu-se a peça a 900°C durante 2 horas, resfriando-se em água.
- Precipitação: aqueceu-se a peça a 450°C durante 3,5 horas, resfriando-se ao ar.

A dureza obtida após a solubilização foi de 54 Rockwell B. A dureza obtida após a precipitação foi de 76 Rockwell B.

#### 4.2. — Segunda experiência

*Fundição* — A técnica de fundição usada foi a mesma já descrita, exceto no que diz respeito à matéria prima: devido ao excesso de cobalto e de silício verificado na análise da corrida anterior, adicionou-se menor quantidade desses elementos. Assim, os teores de cobalto e de silício introduzidos na carga por intermédio da liga auxiliar foram de 2,8% Co e 0,7% Si, o que correspondeu a um excesso de apenas 0,3% Co e 0,2% Si.

A análise química desta segunda corrida revelou: 2,76% Co e 0,52% Si, o restante sendo cobre, composição essa geralmente recomendada para esta liga.

Procedeu-se normalmente ao vazamento, inicialmente pelo canal de descida até encher a peça, terminando por vaziar pelo massalote para melhor assegurar a alimentação.

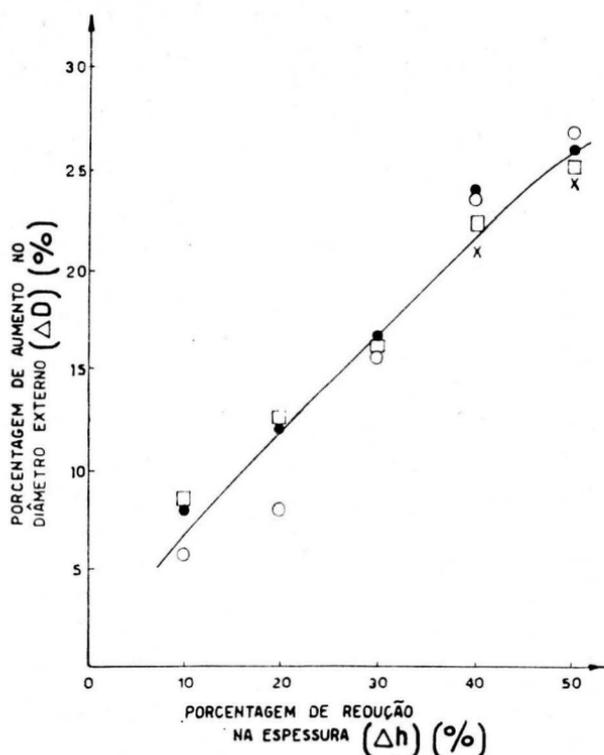


Fig. 5 — Variação do aumento no diâmetro externo em função da redução na espessura do anel no forjamento. Mesma convenção.

As medidas da peça fundida foram as seguintes:

Diâmetro externo (D) — 53 cm

Diâmetro interno (d) — 35,5 cm

Espessura — 9,8 cm

As dimensões dos canais foram as seguintes:

Canal de descida ..... diâmetro de 5 cm

Canal de distribuição ..... largura de 6 cm e espessura de 2 cm

Três canais de ataque ... largura de 6 cm cada um e espessura de 2 cm

Massalote ..... largura de 10 cm, espessura de 28 cm e comprimento de 20 cm

Junção do massalote à peça largura de 8 cm, espessura de 12 cm e comprimento de 8 cm.

*Forjamento* — O forjamento da peça foi realizado conforme foi programado, isto é, partindo de uma espessura de 10 cm (praticamente), forjou-se em etapas, reduzindo-se a espessura de centímetro em centímetro até atingir-se uma espessura final de 5 cm aproximadamente. Cada vez que era reduzida a espessura de 1 cm, media-se o diâmetro externo e o diâmetro interno para se observar a deformação. Após cada medida, a peça retornava ao forno de aquecimento para atingir-se de novo a temperatura de forjamento (900°C). Obteve-se, assim, a seguinte tabela:

Espessura (cm)	D (cm)	d (cm)
9,8	53	35,5
9,0	56	38
8,0	57	40
6,8	61,5	41,5
5,9	65,5	43
5,0	67	44

*Tratamento Térmico* — Foi o mesmo que na experiência anterior.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com as medidas feitas, pode-se traçar alguns gráficos úteis para prever a deformação dos anéis durante o forjamento (Figs. 3 e 4).

Para generalizar os resultados obtidos, é interessante expressi-los também, em porcentagens de aumento de D e d, em função da espessura h (Figs. 5 e 6). Estes últimos gráficos dão as medidas em que deverão ser forjados os anéis de qualquer tamanho, em liga cobre-cobalto-silício, para se obter, no final, as dimensões desejadas para os mesmos.

Cálculo das porcentagens de aumento nos diâmetros D e d: Chamando de  $\Delta D$  e de  $\Delta d$  as porcentagens de aumento nos diâmetros externo e interno, respectivamente, e de  $\Delta h$  as porcentagens de redução da espessura, tem-se:

$$\Delta D \text{ ou } \Delta d = \frac{\text{dimensão após algum forjamento} - \text{dimensão inicial}}{\text{dimensão inicial}} \times 100$$

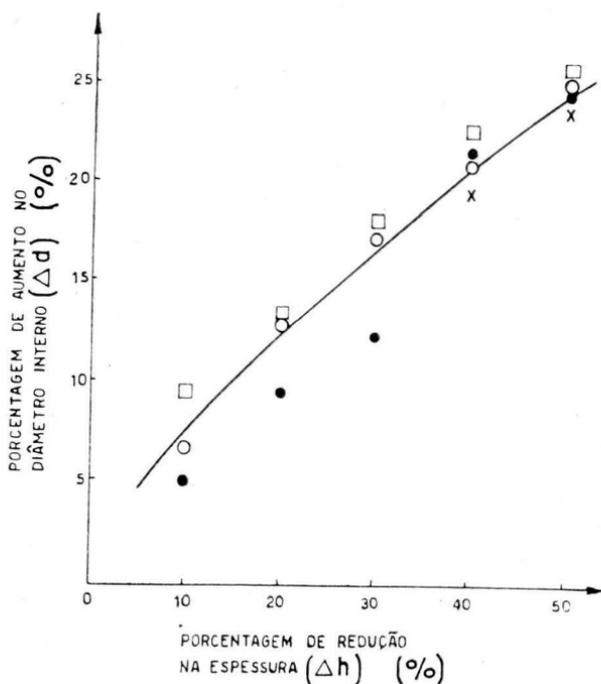


Fig. 6 — Variação do aumento no diâmetro interno em função da redução na espessura do anel por forjamento. Mesma convenção.

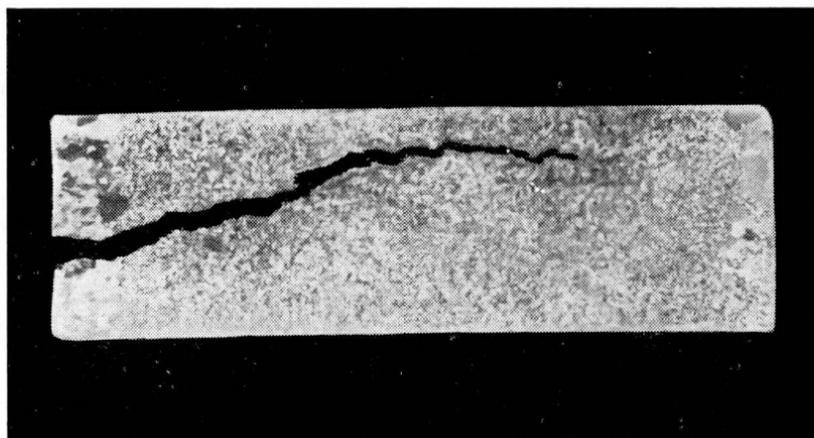


Fig. 7 — Defeito apresentado por anel fundido; aspecto da macroestrutura do material numa secção transversal. Ataque:  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Trinca intergranular. Granulação irregular, característica de material fundido. Aumento:  $0,5 \times$ .

Obteve-se, assim, a tabela das porcentagens de redução na espessura e do aumento nos diâmetros. Dos dados desta tabela, conclui-se que durante a redução da espessura dos anéis à metade, por forjamento, os diâmetros externo e interno aumentam de cerca

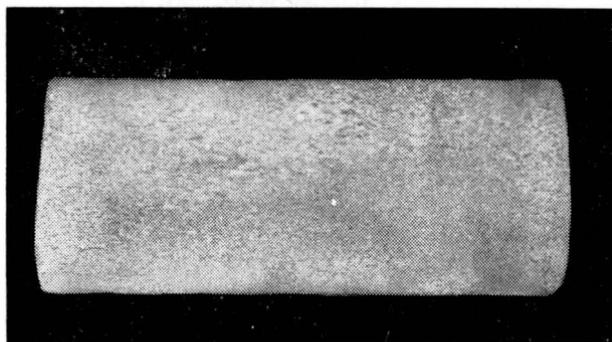


Fig. 8 — Secção de anel forjado; aspecto da macroestrutura do material. Secção transversal. Ataque:  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Granulação irregular. Estrutura característica de material forjado e recristalizado. Aumento  $0,5 \times$ .

Tabela das porcentagens de redução na espessura e do aumento nos diâmetros  
Tabela das porcentagens de redução na espessura  
e do aumento nos diâmetros

$\Delta h$ (%)	$\Delta D$ (%)	$\Delta d$ (%)
1.ª Experiência		
40	20,7	19,5
50	24,5	23,6
2.ª Experiência		
10	5,7	7
20	7,5	13
30	16	17
40	23,5	21
50	26,5	25
3.ª Experiência		
10	7,5	5
20	12	9
30	17	12,5
40	24	21
50	26	24
4.ª Experiência		
10	7,5	9
20	12,5	13,5
30	16,5	18
40	22	23
50	25	25

de 25%. Naturalmente que, para cada caso, é necessário fazer-se uma experiência prévia para se determinar exatamente a variação das dimensões.

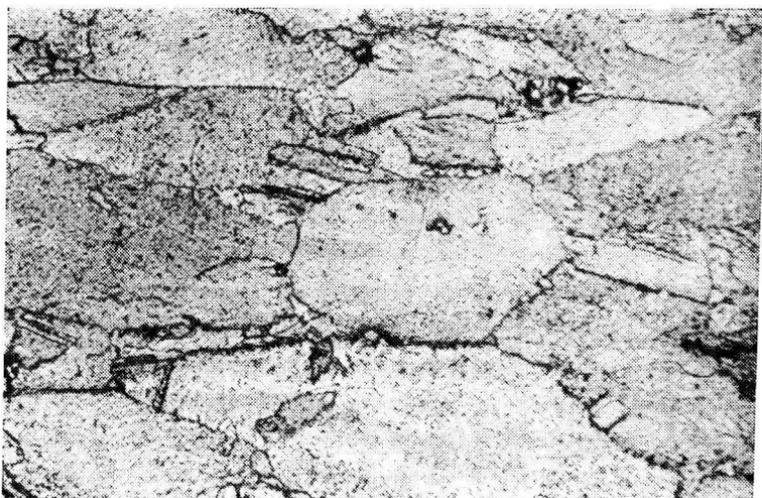


Fig. 9 — Microestrutura de anel forjado. Secção longitudinal. Ataque:  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Aumento: 100  $\times$ .

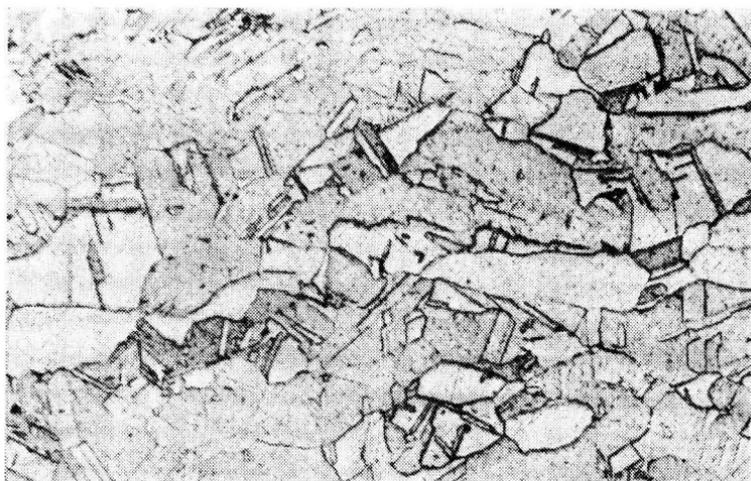


Fig. 10 — Microestrutura de anel forjado e tratado termicamente. Secção longitudinal. Ataque  $\text{NH}_4\text{OH}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Aumento 100  $\times$ .

## 6. ESTRUTURA DAS PEÇAS

Foram realizados alguns exames metalográficos com o objetivo de melhor aquilatar o efeito do forjamento e do tratamento térmico.

As macro e micrografias das Figuras 7, 8, 9 e 10 ilustram os tipos de estrutura observados. É facilmente observável a melhoria da estrutura pelo forjamento seguido do tratamento térmico.

## 7. CONCLUSÕES

Da experiência adquirida na Secção de Ligas Não-Ferrosas da Divisão de Metalurgia do I.P.T., pode-se concluir o seguinte:

- a) A produção de eletrodos girantes para solda de tubos é problema que vem preocupando a indústria nacional, obrigada a importá-los ou a lançar mão de uma produção local ainda insuficiente em quantidade e qualidade.
- b) A produção de anéis de boa qualidade para eletrodos girantes, apenas por fundição, é difícil. O forjamento, garantindo a compacidade das peças bem como promovendo um refino de grão (por recristalização), permite a obtenção de peças de boa qualidade e adequadas para a aplicação em vista.
- c) O forjamento provoca uma alteração das dimensões, que precisa ser estudada previamente. No caso dos anéis estudados no I.P.T. observou-se que, para uma redução da espessura de 50%, os diâmetros interno e externo aumentavam de cerca de 25%.
- d) Para melhor estudar e resolver os problemas de produção de eletrodos girantes, não só de Cu-Co-Si como de outras ligas de cobre de alta condutividade, de modo a divulgar a técnica e melhor atender às necessidades da nossa indústria, é necessário prosseguir nos trabalhos iniciados, o que será feito pelo I.P.T.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a preciosa colaboração da Secção de Metalografia e da Secção de Aços (onde foram forjados os anéis).

## BIBLIOGRAFIA

1. BRADASCHIA, CLOVIS — “A fundição de eletrodos girantes para a solda elétrica contínua de tubos”. ABM-Boletim, vol. 10, pag. 271, 1954.
2. HEUVERT, RENÉ — “Eletrodos em discos na fabricação de tubos soldados”. ABM-Boletim, vol. 11, pag. 411, 1955.

3. RUDDLE, R. W. — "*Gating copper alloy castings*". Foundry, dezembro de 1959, vol. 87, n.º 12, pag. 72.
4. RUDDLE, R. W. — "*Riserling copper alloy castings*". Foundry, janeiro de 1960, vol. 87, n.º 1, pag. 78.



## DISCUSSÃO

**M. A. Moraes** (1) — Quero congratular-me com os colegas do IPT pelo trabalho apresentado, de real interesse para a indústria. Posso lembrar que já tivemos, em nossa atividade industrial, problemas com êsses eletrodos, ditos girantes.

Está aberta a discussão.

**V. Lo Ré** (2) — Cumprimentando os autores do trabalho, perguntaria se êsses eletrodos são normalmente fabricados por forjamento ou por fundição.

**S. Augusto de Souza** (3) — Normalmente são forjados. No início tentámos fundi-los, mas como depois apareceram trincas, passamos a forjá-lo, como no estrangeiro. Acredito que, se optaram pelo forjamento, é que deve ser difícil ou impossível obter essas peças por simples fundição.

**V. Lo Ré** — Mas não haveria possibilidade de empregar a fundição sob pressão ou a vácuo? Ocorre-me esta indagação porque sei que há dificuldade dimensional no forjamento.

**S. Augusto de Souza** — Talvez haja essa outra possibilidade. No caso, verificou-se que a liga usada é perfeitamente forjável na temperatura inicial de 900°C e o eletrodo resulta perfeito.

**P. Villares** (4) — Gostaria de saber alguns resultados práticos de utilização dêsses eletrodos nacionais; se foram utilizados com êxito.

**S. Augusto de Souza** — Os eletrodos forjados no IPT estão sendo utilizados com êxito. Os anteriores, os que eram fundidos, vinham com bolhas, trincas e porosidades; não atuaram bem. A duração dos eletrodos forjados é o dobro da dos fundidos e análoga à dos importados, os quais aliás escasseiam na praça.

**L. Corrêa da Silva** (5) — Nêsse assunto que o Eng. Sérgio Augusto de Souza estudou, o objetivo do IPT, dentro de seus intuítos de pesquisa e fomento, foi unicamente o de tentar resolver um problema que a

---

(1) Membro da ABM e presidente da Comissão «B»; diretor da Fundação Progresso S.A.

(2) Membro da ABM e engenheiro da divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo.

(3) Membro da ABM e engenheiro da divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo.

(4) Membro da ABM e engenheiro chefe do Dep. de Fundição de Aços Villares; São Paulo.

(5) Membro da ABM e Professor na EPUSP; engenheiro Chefe da Divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo, SP.

indústria enfrentava. Admitimos que a solução é relativamente fácil, metalúrgica e mesmo industrialmente falando. Entretanto, tem persistido por muitos anos. Há pelo menos 15 anos que temos sido consultado a respeito desses eletrodos e temos feito eletrodos fundidos, que era a possibilidade até recentemente. Agora, naturalmente, dada a qualidade insuficiente dos eletrodos fundidos, por causa das irregularidades inerentes ao processo de fundição, procurou-se desenvolver, mesmo com os nossos recursos, em pequena escala, esses eletrodos fundidos e forjados, para atender a uma necessidade da indústria. É exclusivamente este o objetivo do trabalho. Uma vez conseguido o resultado aqui apresentado pelo IPT, o estou transmitindo imediatamente à indústria, de modo que quem quiser produzi-los poderá fazê-lo com facilidade, sem ter de preocupar-se com certos detalhes, inclusive porque a variação dimensional já está indicada. Outros detalhes podem ser estudados, conforme as dimensões específicas de cada caso.

Quanto ao comportamento, comparado com os eletrodos americanos, podemos dizer que o Eng. Roberto Jafet, que é consumidor desses eletrodos, informou na semana passada que, por enquanto, os eletrodos empregados têm tido comportamento idêntico ao dos eletrodos americanos que eram importados.

**P. Villares** — Isso é de grande valor para o Brasil.

**M. A. Moraes** — Esses eletrodos não poderiam ter sido feitos de cobre-berílio?

**S. Augusto de Souza** — Os eletrodos de cobre-berílio são bons, mas muito mais difíceis de elaborar do que os de cobre-cobalto; o berílio é tóxico e seu manuseio requer aparelhos de exaustão de gases, de que não dispomos no IPT.

**M. A. Moraes** — Na fusão da liga, o trabalho acena que, para evitar excessiva oxidação do banho, este é protegido da atmosfera por escória apropriada. Qual foi essa escória?

**S. Augusto de Souza** — Formamos a escória com borax e vidro em cacos.

**P. Villares** — O forjamento que foi executado implica em cuidados especiais, por exemplo na quantidade de redução? A redução pode ser feita de uma só vez ou em dois estágios? Se se fizer uma redução mais violenta, haverá problemas de quebras, ou é forjamento que pode ser feito em qualquer martelo?

**S. Augusto de Souza** — Quanto ao forjamento, o trabalho é suficientemente explícito. Partindo de uma espessura de 9,8 cm, forjou-se em etapas, reduzindo-se a espessura de centímetro em centímetro até atingir-se a espessura final de 5 cm. Após cada medida, a peça retornava ao forno, para readquirir a temperatura de forjamento, isto é, 900°C. Partíamos dessa temperatura e forjávamos até 600°C, aproximadamente.