

1º SIMPÓSIO SÔBRE METAIS NÃO FERROSOS

FUSÃO E FUNDIÇÃO DE LIGAS DE MAGNÉSIO EM COQUILHAS E
SOB PRESSÃO;

Karl-Heinz Schmidt⁽¹⁾
VOLKSWAGEN DO BRASIL S/A

O magnésio, metal mais leve empregado para construções, existe na natureza somente combinado, tal qual o alumínio. Ao contrário do alumínio, porém, não tem encontrado uso na indústria sob a forma pura. Somente suas ligas têm importância para a indústria. Mas mesmo assim, foram necessários consideráveis trabalhos de desenvolvimento, que, basicamente foram realizados pela IG-Farbenindustrie AG, sucursal de Bitterfeld. Como ligas-padrão foram desenvolvidas as de Mg-Al-Zn (Mg Al 9 Zn 1 e Mg Al 9 Zn 2). A desvantagem dessas ligas é que são termoresistentes somente até 150°C. Acima dessa temperatura inicia-se a tendência à deformação plástica e também decrescem fortemente os valores de sua resistência mecânica. Além disso, são muito dificilmente fundidas sem porosidade devido ao seu intervalo de solidificação. Uma microporosidade é praticamente inevitável. Estas desvantagens não são apresentadas pelas ligas de Magnésio-Zircônio-Cério. Quanto à resistência térmica não são inferiores às ligas de alumínio e também é relativamente simples fundi-las compactas e sem porosidades. Devido ao seu elevado preço encontram estas ligas sua aplicação principalmente na Indústria aeronáutica. O desenvolvimento de motores a jato redundou na exigência de materiais leves e termicamente resistentes e esta exigência é satisfeita o melhor possível pelas ligas de Mg-Zr-Ce.

(1)

Chefe de fundição - Volkswagen do Brasil

Hoje, porém, trataremos apenas das ligas de Mg-Al-Zn.

1 - Fusão e Refino

Para a fusão e refino revelou-se o forno de indução de cadinho plenamente satisfatório. Como êste apresenta seu máximo grau de eficiência somente quando permanece algum material no seu interior, retiram-se apenas 400 kg de metal de uma carga total de 600 kg. Os restantes 200 kg permanecem para a carga seguinte. A carga inicial se compõe de 60% de lingotes, 30% de sucata e 10% de briquetes. Como matéria-prima para os cadinhos de fusão, homogeneização, purificação e fundição é empregado aço fundido. Do forno de fusão é vertido o metal para o forno de refino de cêrca de 400 kg de capacidade. Para isto, o cadinho do forno de homogeneização, que é aquecido por resistência, é transportado por meio de talha e colocado por debaixo do forno de fusão. No forno de homogeneização o metal é refinado e após cêrca de 20 minutos, conforme o caso, é vertido nos fornos de fundição, com auxílio de uma talha ou empilhadeira, por meio de um cadinho basculante.

Para o tratamento metalúrgico e para a proteção da liga contra oxidação, deve-se fundi-la sob uma camada protetora de fluxo. Como sal de fusão e de refino, utiliza-se uma mistura de $Mg Cl_2$, K CL, Na CL e Ca F. Êstes sais são higroscópicos e devem ser armazenados em estufa para evitar absorção de umidade. Uma vez úmidos, não são mais utilizáveis. O fluxo deve, de um lado, proteger perfeitamente contra oxidação e, de outro lado, garantir perfeita purificação dos óxidos e de outros impurezas não-metálicas. Isto significa que o fluxo deve ser somente um pouco mais pesado que a liga de magnésio. Com isto, obtém-se através de uma lenta deposição, a perfeita refinação do material. Devido ao efeito de turbilhonamento do forno de indução, não se conseguiu uma refinação razoável, apesar de se acrescentar cada vez maiores quantidades de fluxo. Acima de $650^{\circ}C$, rasga-se a camada protetora de fluxo, de modo que é necessário acrescentar sempre novas quantidades de fluxo para a proteção. Dever-se-ia também obter um refino de grão, após o processo de superaquecimento. Ligas de magnésio absorvem muitas vezes mais hidrogênio do que as ligas de alumínio e, ao contrário destas, não o liberam por ocasião da solidificação. Como a absorção de hidrogênio é máxima nas altas temperaturas do superaquecimento e ainda é favorecida pela alta umidade relativa de São Bernardo do Campo, tornou-se necessário uma desgaseificação por cloro.

Experiências demonstraram que a não compacticidade e a alta microporosidade nas peças de fundição em coquilhas é provocada principalmente pelo alto teor de H₂, mas também é influenciada pelo teor de Zn na liga. O Zn, porém, tem a característica de reduzir a tendência à trincas térmicas da liga, que para a fundição em coquilha é muito importante. O uso do hexacloretano para a desgaseificação aboliu o processo de superaquecimento, porque devido à perfeita desgaseificação do material bem como à formação de novos núcleos por meio de carbetos, foi possível um refino de grão satisfatório. O processo de refino foi, pois, normalizado como segue: fusão em 750°C, depois vazamento no forno de purificação. A purificação é feita, primeiramente, por desgaseificação por meio de cerca de 0,1% do peso do material de hexacloretano introduzido parceladamente por seis vezes por meio de uma campânula de imersão, seguida por uma refinação com cerca de 1,5% de fluxo. O fluxo também é introduzido parceladamente, sendo acrescentado por meio de um simples gancho na superfície de metal. Na produção de peças por fundição sob pressão não revelou como prejudicial o teor maior de H₂ no metal. Um tratamento para refino do grão também não é necessário, do modo que se pode abolir a desgaseificação com o hexacloretano. Para impedir que o fluxo penetre mais tarde na peça fundida, o metal deve repousar necessariamente após o refino por 20 minutos. Isto é muito importante para as peças de ligas em magnésio, uma vez que o próprio magnésio é muito inconstante. As eventuais porções de fluxo das peças fundidas provocam uma corrosão intensiva na atmosfera comum. As inclusões ocultas de fluxo na peça levam no caso de uma deformação sob pressão a uma duplicação do metal. A presença de cloreto de magnésio na superfície da peça fundida leva a inutilização da mesma. O cloreto de magnésio é bastante higroscópico e forma com o hidrogênio da atmosfera, ácido clorídico que ataca novamente o magnésio formando cloreto de magnésio. Portanto dá-se um processo cíclico que com o tempo inutiliza irremediavelmente a peça. Uma posterior proteção superficial por cromação não pode mais impedir o desgaste. A prática mostrou que o teor máximo de cloreto de magnésio nas ligas de magnésio é de 0,01%. Tendo um teor maior, as peças devem ser recusadas como sucata, por não se poder obter uma suficiente proteção contra a corrosão.

2 - Fundição em coquilhas

O forno de Fundição para o processo de fundição em coquilhas apresenta-se normalmente como forno de cadinho basculante aquecido por resistência. A abertura de vazamento do cadinho é protegido até quase a base. Isto impede que a cobertura de sal da superfície do metal en

tre no colherão. A superfície livre do metal na abertura de vazamento é protegida contra corrosão por meio de gás sulfuroso. Durante o enchimento do colherão até o final do estágio de fundição, deve ser o metal protegido continuamente por aspersão de enxôfre em pó. Pela queima do enxôfre forma-se também gás sulfuroso que protege a superfície contra a oxidação durante o processo de fundição.

Como matéria prima para as coquilhas utiliza-se ferro fundido ou aço fundido. Entretanto, o aço fundido comportou-se melhor para as coquilhas complexas, uma vez que são mais facilmente reparáveis e recuperáveis após o desgaste ou eventuais modificações. O ângulo de inclinação da coquilha no ato de fundir não deve ser inferior a um grau e para superfícies de 100 mm de comprimento êsse deve ser no mínimo 2 graus. Cantos vivos devem ser evitados, e os raios de curvatura devem ser escolhidos tão grandes quanto possíveis. Grandes variações de espessuras das parêdes deveriam ser evitadas, mas onde isto é impossível deve-se dotar a coquilha de refrigeração. Como meio de refrigeração, o ar comprimido é perfeitamente satisfatório. Os montantes devem ser dispostos de tal maneira que possam receber facilmente o metal.

Também devem ser isolados perfeitamente de qualquer perda de calor. Saliências e reentrâncias na coquilha devem ser providas de fendas para a saída do ar. Essas fendas devem ser limpas diariamente, a fim de permitir uma saída perfeita do ar. A coquilha deve ser provida de sistema de aquecimento. Êste é necessário não somente para o aquecimento da própria coquilha mas também para prover a coquilha com a necessária energia térmica durante o processo de fundição, principalmente em se tratando de coquilhas com paredes finas de grandes áreas. A fim de se conseguir um preenchimento completo da coquilha com uma isenção maior possível de turbilhonamento, inclina-se esta para a posição de receber o metal e logo depois coloca-se, novamente na posição horizontal. A velocidade de resfriamento das ligas de magnésio é muito grande. Por exemplo, o resfriamento de uma metade do bloco de motor Volkswagen cujo peso é cêrca de 8,5 kg leva apenas 45 segundos. A peça é tirada da coquilha com cêrca de 400°C. A permanência da peça por um tempo maior dentro da coquilha levará certamente a uma contração contra o núcleo. Com isso, formam-se na peça trincas de encolhimento e também a peça danificada mecânicamente na ocasião de sua extração da coquilha e da retirada do núcleo. O núcleo deve ser retirado em linha reta. Para conseguir uma retirada uniforme sem trancos, os núcleos são adicionalmente empurrados por meio de extrator. Depois da retirada de todos os núcleos, retira-se a

peça da coquilha por meio do extrator e depois coloca-se-a na mesa de contrôle.

Como as ligas de magnésio apresentam uma dureza mínima a 400°C, é preciso que todos os processos de remoção da peça da coquilha sejam levados a efeito com muito cuidado. A coquilha deve se apresentar em estado perfeito. A menor imperfeição na conicidade da coquilha bem como a mínima inclinação de um dos seus núcleos leva a peça ao refugo.

A experiência mostrou que, coquilhas usadas para fundir peças de alumínio estão longe de serem convenientes para a obtenção de peças aproveitáveis de ligas de magnésio. O anti-aderente empregado na coquilha é constituído de uma mistura de talco, carbonato de cálcio hidratado, ácido bórico e água. O ácido bórico serve de um lado para melhorar a aderência do anti-aderente na coquilha e de outro lado, também, para evitar que o material se inflame dentro da coquilha. O teor de ácido bórico é de 7% do teor de água. Como porém o ácido bórico só é solúvel até 3% em água fria, deve a água ser aquecida a 65°C antes de fazer a mistura do anti-aderente. A durabilidade do anti-aderente é de cerca de 12 horas; durante este tempo ele deve ficar na temperatura em que se processa a mistura. Para isto é necessário um recipiente aquecido provido de termostato. A colocação do anti-aderente na coquilha exige grande prática e deve ser executado com máximo cuidado. Falhas cometidas nesse estágio dificilmente serão contornadas depois. Na maioria das vezes deve então ser limpa de novo toda a coquilha e depois novamente coloca-se o anti-aderente.

Após um turno de trabalho, a coquilha deve ser limpa e novamente dotada de anti-aderente. Deve-se notar também, que para uma coquilha como aquelas usadas na Volkswagen para produção de blocos de motor, são necessários 5 fundidores para seu manuseio.

3 - Fundição sob pressão

A obtenção de peças de ligas de magnésio fundidas sob pressão teve nos últimos dez anos, um desenvolvimento extraordinário. Cerca de 90% das peças fundidas dessas ligas são hoje obtidas por fundição sob pressão. Como máquinas para fundição sob pressão são usadas as máquinas horizontais ou verticais de câmara fria. Em casos restritos usam-se máquinas de câmara quente, mas estas servem apenas para peças simples. Nas máquinas de câmaras fria, deve-se cuidar que a velocidade

do pistão seja suficiente, uma vez que, para a obtenção de boas peças fundidas, esta deve ter um mínimo de 5 mts por segundo. Antigamente, as máquinas de fundição sob pressão eram alimentadas sem excessão, manualmente, por meio de colherões. Instalações automáticas para a alimentação das máquinas, como são usadas nos processos de fundição de alumínio, não podem ser usadas para o magnésio. Últimamente, também, estão-se difundindo instalações automáticas especiais para a alimentação das máquinas empregadas para a fundição sob pressão de magnésio. Nestas por meio de uma bomba, o metal é empurrado através de um tubo alimentador aquecido até a câmara de pressão. Como bombas são utilizadas, bombas centrífugas e, de outro lado, bombas pneumáticas por pressão de nitrogênio. Na fábrica VW está em uso há algum tempo, uma bomba pneumática de nitrogênio que trabalha a pleno conteúdo. Deve-se chamar atenção ainda, que na fundição sob pressão, a saída de ar seja perfeita. As superfícies dos moldes não devem ser polidas, mas levemente ásperas. Para isto mostrou-se conveniente o emprêgo do jato de granalha.

Peças fundidas de magnésio devem ser protegidas contra oxidação imediatamente após o processo de fundição. Para isto mostrou-se conveniente o emprêgo da cromatização através do ácido nítrico com o bicromato de potássio.

O exposto mostrou os processos de fundição de magnésio, realçando-se nêstes os cuidados especiais necessários para obtenção de peças perfeitas de ligas de magnésio.

FUSÃO E FUNDIÇÃO DE LIGAS DE MG EM COQUILHAS E SOB PRESSÃO

Karl Heins Schmidt⁽¹⁾

(Trabalho apresentado pelo Sr
Ove Shirm⁽²⁾)

DEBATE:

Álvaro Garcia do Ó⁽³⁾

- São três esclarecimentos que eu gostaria de obter.
- 1º) Qual é o rendimento, no caso dos blocos de liga de magnésio?
- 2º) Refere-se ao contrôle de qualidade.

Ove Shirm

- Na fundição em coquilhas, o refugo é de 20% do bloco todo, e em fundição sob pressão, a penas 7%. Há o contrôle, primeiramente, visual da superficie. Depois há o contrôle feito no laboratório físico. Sòmente as peças fundidas são inspecionadas nesses laboratórios. O refugo que nós temos, não é suficientemente alto, para uma instalação, por exemplo de raios-X. As peças muitas vèzes, entram na linha para serem trabalhadas e usinadas e depois de uma série de operações já feitas, apresentam-se de repente, com uma fissura, ou algo assim, mas isso é em porcentagem tão pequena, que não comporta a instalação de um equipamento como o raios-X. O contrôle de qualidade é feito de duas maneiras: essa maneira inicial visual da superficie, ou então a análise no laboratório físico de cortes de peças.

Garcia do Ó

- Quer dizer que o ensaio é efetuado na peça,

não em corpos de provas tirados da corrida?

Ove Shirm

- Ha os testes periódicos também.

Garcia do Ó

- Eu queria saber se esse índice de sucata-
mento de 20%, os Srs acham elevado ou normal?

Ove Shirm

- É perfeitamente normal, até bastante razoável.

Garcia do Ó

- Outra pergunta, é relativa ao problema de inclusão de óxido de magnésio. Gostaria de saber, se a incidência é grande e se existe um máximo admissível para aceitação ou recusadas peças por inclusão de óxido de magnésio além do cloreto de que o Sr já falou.

Ove Shirm

- A inclusão conduz irremediavelmente ao recurso da peça, mas felizmente a incidência desses casos não é muito frequente. O controle do processo de fundição é perfeito e essa inclusão quase não ocorre.

Garcia do Ó

- A distribuição dessa inclusão é determinada por ensaios micrográficos.

Ove Shirm

- Sim é feito por esse processo a verificação mas ultimamente tem se reduzido esses casos. somente a alguns, muito excepcionais. O controle como eu disse, do próprio processo de fundição é tão perfeito que quase não ocorre mais.

Aparteante

- Eu queria saber se há impregnação nessas peças, especialmente no bloco.

Ove Shirm

- Somente a cromatização, por ácido nítrico e bicromato de potássio.

Kajita (4)

- Um dos maiores problemas para fundição de

ligas de magnésio, principalmente do tipo Mg-Al-Zn, acho que é micro-porosidade. Gostaria de saber se além do controle micrográfico que os Srs fazem, há algum controle de detecção de micro-porosidade.

Ove Shirm

- A micro-porosidade nessas ligas não é inevitável, como sabemos, e os laboratórios físicos fazem constantes controles micrográficos dessa microporosidade. Ela não deve aumentar muito, quer dizer, deve manter-se dentro de certos níveis já estabelecidos pela nossa prática.

Kajita

- O Sr mencionou a micrográfrica, é só mesmo a micrográfica? Eu tinha notícia que o controle de raios-X para a microporosidade é possível, embora seja difícil. Os Srs fazem isso?

Ove Shirm

- Com o aparelho de raios-X é difícil de determinar exatamente essa microporosidade. O outro processo é suficiente.

Lino Rodighiero⁽⁵⁾

- Eu queria que o conferencista explicasse um pouco melhor, porque VW escolheu o magnésio para essas peças. Considerando que muitas fábricas europeias não usam magnésio e usam somente ligas de alumínio.

Ove Shirm

- As razões são duas:
 1ª) A redução do peso. O peso específico do alumínio é 2,8 do magnésio 1,1.
 2ª) A facilidade de usinagem dessas ligas de magnésio. Quer dizer, é duplamente mais oneroso o processo de usinagem das ligas de alumínio do que das de magnésio. Essas são as razões do assunto em pauta.

Rodighiero

- O Sr não acha que o magnésio poderia ser su

substituído pelo Al como aconteceu em muitas fábricas européias? Eu falo isso porque o problema do magnésio aqui no Brasil é muito importante; o maior gasto do magnésio mesmo é o da VW. Parece-me que o problema do magnésio aqui no Brasil existe porque a VW escolheu esse metal.

Ove Shirm

= Eu acho que não. O Sr ouviu agora mesmo do Cap Longo que o magnésio tem vários fins militares também é de uso na recente indústria aeronáutica, de maneira que nós com esse consumo de magnésio estamos colaborando diretamente, para que o magnésio seja também utilizado em outras aplicações.

Tibor Vass⁽⁶⁾

- Eu gostaria de perguntar, se há possibilidades em ligas de magnésio revelarem-se as falhas da fundição por meio de métodos ultra-sônicos.

Ove Shirm

- A nossa matriz não conhece. Não está utilizando esse processo por ultrassom e nós aqui também achamos que o controle que estamos fazendo de qualidade, revelou-se ser suficientemente bom e dificilmente, os Srs vão ver um VW com o motor parado por causa da sua carcaça.

Tibor Vass

- Eu não me referi a respeito do produto pronto, mas como foi revelado e é do conhecimento de todos em geral, muitas vezes, durante a usinagem revela-se a falha. Então, trata-se de reduzir o custo industrial desse ponto de vista, e não de melhorar os produtos prontos que sabemos estão saindo bastante bons.

Ove Shirm

- Quero reforçar que para esses refugos que saem da usinagem não é necessário ao nosso ver uma instalação de algum equipamento adi

cional para êsse contrôle. Mais ou menos de 2-3% dêsse refugo vem da linha de usinagem.

Donato⁽⁷⁾

- Eu queria que o conferencista explicasse se foi usado berílio para atenuar a oxidação do banho e até que ponto a atenua.

Ove Shirm

- A liga que usamos, contém de 0,005 a 0,015% de Be se aumentar essa porcentagem, o refino do grão se torna difícil. Os grãos apresentam-se depois, diferentemente do que de vem ser.

Mário Rennó⁽⁸⁾

- Qual é a porcentagem em pêsos do metal de flu xo, consumido nessa fundição em que os Srs dizem que foi um consumo grande.

Ove Shirm

- Essa porcentagem é de 5-6% da peça fundida. Computando o gasto do metal e o gasto do fluxo durante o mês, êsse valor do fluxo atinge a 5-6%. Agora, no fôrno de indução a camada de fluxo varia, conforme as condições no refino, a porcentagem do fluxo atinge ao valor de 1,5% da carga do fôrno de refino.

Ciro Bondesan⁽⁹⁾

- Qual o nível permitido de Boro na liga de magnésio?

Ove Shirm

- Não existe boro nestas ligas que nós usamos e o ácido bórico utilizado no anti-aderente não conduz a absorção de qualquer quantidade de boro na liga.

José Carlos D'Abreu⁽¹⁰⁾

- Gostaria de saber em 1º lugar, qual a % de Zn, Al e Mg e em segundo lugar, como é feito o contrôle eventual decorrente do óxido de Al, na liga.

Ove Shirm

- O Alumínio nessa liga de Al-Mg-Zn está na porcentagem de 7,5 - 8,0%; o Zn = 0,3 - 1,0%. Uma análise mostraria qualquer outra coi sa, mas não o óxido de Al.

- 1) Karl Heinz Schmidt
Chefe de Fundição - Volkswqgen do Brasil
- 2) Álvaro Manoel Pereira Garcia do Ó
Engº Metalurgista da CSN
- 3) Tomohiro Kajita
Engº Industrial Metalúrgico - IPD/CTA
S. José dos Campos
- 4) Lino Rodighiero
Engº da Cia Brasileira de Alumínio
- 5) Tibor Vass
Pesquisador do Depto de Materiais do IPD/CTA
S. José dos Campos
- 6) Donato Cardoso dos Reis
Químico Industrial - A. Tonolli S/A
- 7) Dr Mário Rennó Gomes
Prof. Catedrático de Metalurgia dos Metais Não Ferrosos na Escola
de Engenharia da UFMG
Engº Tecnologista do Instituto de Tecnologia Industrial de MG
- 8) Ciro Bondesan dos Santos
Pesquisador do Depto de Aeronaves - IPD/CTA
S. José dos Campos
- 9) José C. D'Abreu
Engenheiro Metalúrgico - IPEA