

Densidade Absoluta = Massa / Volume

No Sistema Internacional a unidade é kg/m^3 ou seus submúltiplos, por exemplo g/cm^3 .

1. PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

O Princípio de Arquimedes estabelece que *“Um fluido em equilíbrio age sobre um corpo nele imerso (parcial ou totalmente) com uma força vertical orientada de baixo para cima, denominada empuxo (E), aplicada no centro de gravidade do volume de fluido deslocado, cuja intensidade é igual a do peso do volume de fluido deslocado (P)”*.

No nosso caso vamos considerar o líquido utilizado a água(a) e o corpo uma amostra da liga de alumínio (c)

$$E = P_a = m_a \cdot g$$

Onde:

m_a – massa do líquido deslocado

g – aceleração da gravidade ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Temos também, que:

$$m_a = d_a \cdot V_a$$

Onde:

d – densidade do líquido deslocado

V – volume do líquido deslocado

Então:

$$E = d_a \cdot V_a \cdot g$$

O peso de corpo que queremos medir a densidade é dado pela fórmula:

$$P_c = d_c \cdot V_c \cdot g$$

No nosso caso, como a densidade do corpo (amostra da liga de alumínio) é maior que a densidade da água (1 g/cm^3), então podemos dizer que:

$$V_a = V_c = V$$

2. CÁLCULO DA DENSIDADE DE UMA AMOSTRA

Então:

$$\begin{aligned} E &= d_a \cdot V \cdot g \rightarrow E / d_a = V \cdot g \\ P_c &= d_c \cdot V \cdot g \rightarrow P_c / d_c = V \cdot g \\ E / d_a &= P_c / d_c \rightarrow E \cdot d_c = P_c \cdot d_a \end{aligned}$$

Sendo a densidade do corpo maior que a densidade da água, pelo Princípio de Arquimedes, quando você mergulha a amostra de liga de alumínio na água, o corpo fica sujeito a uma resultante vertical de cima para baixo, denominada “*peso aparente*” – P_{AP} , que é o peso da amostra menos o empuxo exercido pela água, ou seja:

$$P_{AP} = P_c - E \rightarrow (E = P_c - P_{AP})$$

Substituindo E na equação:

$$(P_{AP} - P_c) \cdot d_c = P_c \cdot d_a \rightarrow d_c = [P_c / (P_c - P_{AP})] \cdot d_a$$

Sendo:

$$\begin{aligned} P_c &= m_c \cdot g \\ P_{AP} &= m_{AP} \cdot g \end{aligned}$$

Então temos que, a densidade relativa da mostra será dada pela fórmula:

$$d_c = [(m_c \cdot g) / (m_c \cdot g - m_{AP} \cdot g)] \cdot d_a \rightarrow d_c = [m_c / (m_c - m_{AP})] \cdot d_a$$

Ou seja:

Como o fluido utilizado será a água e a mesma tem densidade de 1 g/cm³, temos então, que a densidade relativa da amostra da liga de alumínio, será:

$$d_c = m_c / (m_c - m_{AP})$$

Esse cálculo pode ser feito considerando o seguinte:

$$d_{amostra} = m_{ar} / (m_{ar} - m_{água}) \text{ em g/cm}^3$$

Ressaltamos que esse método se aplica a materiais não poroso.

Como a densidade da água varia com a temperatura ambiente, caso precise de um cálculo preciso, deve se aplicar a correção utilizando-se os valores da Tabela 1.

Tabela 1 – Densidade da água em função da temperatura

°C	Décimos de grau									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	0,9999	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9998
10	0,9997	0,9996	0,9995	0,9994	0,9993	0,9991	0,9990	0,9988	0,9986	0,9984
20	0,9982	0,9980	0,9978	0,9976	0,9973	0,9971	0,9968	0,9965	0,9963	0,9960
30	0,9957	0,9954	0,9951	0,9947	0,9944	0,9941	0,9937	0,9934	0,9930	0,9926

Em função da temperatura, deverá ser aplicado o fator de correção da Tabela 1, multiplicando se o valor obtido pela fórmula.

Na Tabela 2 damos os valores de densidade absoluta das ligas mais comumente usadas em fundição, conforme Norma SAE J452.

Tabela 2 – Densidade absoluta de ligas de alumínio (referência)

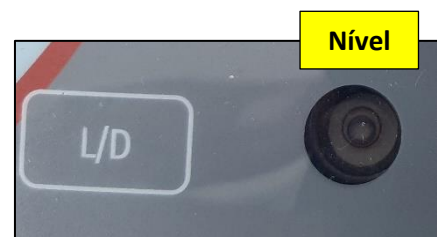
LIGA SAE	LIGA ANSI	Densidade (g/cm ³)	LIGA
382	201	2,80	Al/5Cu
329	319	2,80	Al/6Si/4Cu
323	356	2,68	Al/7Si/Mg
309	360	2,63	Al/10Si/Mg
306	380	2,72	Al/8Si/4Cu
305	305	2,66	Al/12Si

3. MÉTODO OPERACIONAL

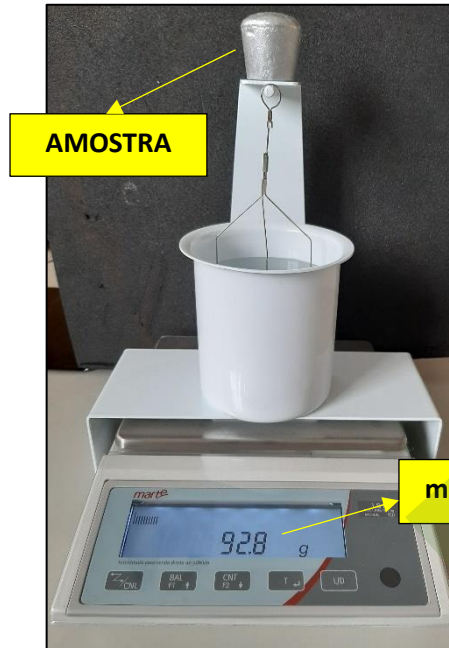
3.A – Tarar a balança, com os acessórios montados e com água no recipiente:



Garantir que a balança esteja nivelada e que a tara esteja zerada



3.B – Pesar o corpo de prova no ar:



3.C – Pesar o corpo de prova imerso na água



$$d_{amostra} = 92,8 / (92,8 - 52,2) = 92,8 / 40,6 = 2,28 \text{ g/cm}^3$$

Atenção: Observar se o porta amostra não está encostando no fundo ou na lateral da vasilha, e se a água esta cobrindo toda a amostra.

4. SISTEMA DE AMOSTRAGEM EM TESTE DE PRESSÃO REDUZIDA - TPR (VÁCUO) PARA CONTROLE DE HIDROGÊNIO NAS LIGAS DE ALUMÍNIO

O Teste de Pressão Reduzida é um método barato e eficaz para verificar a qualidade do fundido do alumínio e é usado por milhares de fundições de alumínio em todo o mundo para controlar a porosidade do gás em suas fundições. O controle da porosidade por hidrogênio em peças fundidas de alumínio é o principal uso do teste TPR, mas também pode ser um bom indicador da limpeza do banho em relação a óxidos e inclusões.

Como funciona:

Uma pequena amostra do alumínio de líquido, de 80 gr a 150 gr é retirada do banho e imediatamente colocada sob uma cúpula a vácuo. A amostra de alumínio é então deixada solidificar por aproximadamente 3 a 4 minutos a um vácuo de 600-700 mmHg. O processo de solidificação sob vácuo expande o volume de gás hidrogênio aproximadamente 10 vezes em relação ao volume gerado na solidificação em atmosfera normal. Esta expansão do gás hidrogênio aumenta a porosidade na amostra TPR tornando possível medir o potencial de porosidade do fundido. Uma vez que os óxidos de filme fino (bi filmes) também influenciam a formação de bolhas de gás hidrogênio, o teste TPR também pode ser usado como um indicador de limpeza do banho.

O equipamento necessário para a avaliação do vácuo de um fundido de alumínio consiste em uma bomba, um manômetro para monitorar o nível de vácuo dentro da câmara de teste e um sistema de controle para regular a pressão (Fig. 3). Na prática, a amostra fundida é colocada no pedestal, uma câmara com uma porta de visualização é colocada sobre a amostra, a câmara é evacuada até a pressão desejada e a amostra pode solidificar sob pressão reduzida. A redução da pressão na câmara faz com que o hidrogênio dissolvido saia da solução no fundido e escape da amostra através da superfície fundida ou forme bolhas dentro da amostra de solidificação.

Aqui estão algumas das muitas maneiras de garantir os procedimentos RPT adequados:

- Use um cadinho metálico de parede fina para a coleta de amostra;
- Ao coletar a amostra limpe a nata de óxido na superfície do banho;
- Pré-aqueça o copo , colocando o por exemplo sobre o forno de espera ou de fusão;
- Transporte a amostra rapidamente para uma unidade de vácuo com vedação e capacidade de bomba de vácuo adequada;
- Feche a câmara de vácuo o mais rápido possível;
- Controle o vácuo até o nível desejado;
- Ajuste o tempo do ciclo para permitir a solidificação completa da amostra;
- Meça a densidade específica da amostra e compare com as especificações do processo.

5. ÍNDICE DE DENSIDADE (ID%) DA LIGA DE ALUMÍNIO

O método do Índice de Densidade da Liga de Alumínio é normalmente utilizado para avaliar o teor de hidrogênio e o nível de limpeza da amostra, fornecendo uma excelente indicação da qualidade geral do fundido. Para determinar o número do índice de densidade do alumínio, duas amostras do fundido devem ser produzidas. Uma amostra solidificada sob vácuo e uma amostra do mesmo tamanho solidificada em atmosfera normal

Um cálculo é então executado usando as medições de densidade de ambas as amostras que resultará no número do Índice de Densidade – ID%.

Um número de ID% menor que 1% indica excelente qualidade de fusão com um teor de hidrogênio e óxido extremamente baixo, enquanto um número de ID% acima de 10% indica baixa qualidade de fusão.

Na prática um número menor que 3% é considerado aceitável.

$$ID\% = [(d_{atm} - d_{vac}) / d_{atm}] \cdot 100\%$$

As densidades da fórmula acima são obtidas através do Método de Arquimedes.

6. SUGESTÃO DE PLANILHA EXCEL

RELATÓRIO DE DENSIDADE										
DATA	Liga	Densidade Teórica g/cm ³	Pressão Atmosférica			Pressão Vácuo			ID%	
			m _{ar}	m _{água}	d _{atm}	m _{ar}	m _{água}	d _{vac}		
			g	g	g/cm ³	g	g	g/cm ³		
20/03/2020	305	2,66	90,2	54,6	2,53	105,4	60,8	2,36	7%	
23/03/2020	306	2,72	95,8	60,1	2,68	89,2	54,9	2,60	3%	
23/03/2020	305	2,66	102,1	61,9	2,54	98,4	58,7	2,48	2%	

Formulas highlighted in the image:

- COL D / (COL D - COL E)
- COL G / (COL G - COL H)
- [(COL F - COL I) / COL F] x 100%