

Maquete dos sistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B no triângulo de Gibbs como um produto didático de apoio ao estudo do sistema ternário Nb-Cr-B e ensino de diagramas de fase ternários.

Scale model of the Nb-B, Cr-Nb and Cr-B binary systems as a tool for the study of the Nb-Cr-B ternary system and for teaching ternary phase diagrams.

Claudio Estanqueiros do Rêgo¹
 Gilberto Carvalho Coelho²
 Antonio Augusto Araujo Pinto da Silva³
 Maria Ismenia Sodero Toledo Faria⁴

Artigo
Original

Original
Paper

Palavra-chave:

Produto
 Maquete
 Sistema ternário
 Diagrama de fases.

Resumo:

Uma maquete tridimensional para os sistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B num triângulo de Gibbs foi desenvolvida visando à utilização de uma ferramenta didática para facilitar o estudo de diagramas de fases ternários e a necessidade de atender a demanda estabelecida para conclusão do curso de “mestrado profissional” envolvendo a apresentação de um produto. O sistema Nb-Cr-B é o foco da dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Materiais do UniFOA intitulada “Contribuição ao Desenvolvimento de Materiais Estruturais para Aplicações em Altas Temperaturas: Avaliação Experimental das Relações de Fases do Sistema Nb-Cr-B na Região Nb – Cr – CrB – Nb₃B₄”. Esta maquete é constituída dos três subsistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B, que permitem a construção do sistema ternário correspondente. Durante o desenvolvimento do trabalho de pesquisa do sistema ternário, foi identificada a necessidade de uma ferramenta tridimensional para facilitar o entendimento das relações de equilíbrio de fases deste sistema. A metodologia consistiu na reprodução dos subsistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B em arame e fixação dos mesmos em uma base de acrílico contendo a representação gráfica do triângulo de Gibbs.

Abstract

A three-dimensional scale model of the Nb-B, Cr-Nb and Cr-B binary systems was developed aiming its use as a teaching tool to facilitate the study of ternary phase diagrams and to accomplish the necessity to present a product as a condition to obtain the master degree in the Professional Master Course in Materials of Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA). The Nb-Cr-B system is the focus of the thesis entitled “Contribution to the development of structural materials for high temperature applications: experimental evaluation of the phase equilibria in the Nb-Cr-B system in the Nb – Cr – CrB – Nb₃B₄ region”. This scale model consists of three binary subsystems Nb-B, Cr-Nb and Cr-B, enabling the construction of the corresponding ternary system. During the development of the research work of the ternary system, the need for a tridimensional tool to facilitate understanding the equilibrium phase relations of this system was identified. The methodology consisted in reproducing the three binary subsystems using copper wires and fixing them in an acrylic base containing the graphical representation of the Gibbs triangle.

Keywords:

Product
 Scale model
 Ternary system
 Phase diagram.

¹ Aluno do Mestrado Profissional em Materiais – MEMAT – UniFOA.

² Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Escola de Engenharia de Lorena – EEL-USP.

³ Aluno do Doutorado em Engenharia de Materiais da EEL-USP.

⁴ Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Escola de Engenharia de Lorena – EEL-USP.

1. Introdução

A complexidade envolvida no estudo de diagramas de fases de sistemas ternários demanda ferramentas didáticas que permitam facilitar o entendimento desses sistemas.

Diagrama de fase ou diagrama de equilíbrio é um diagrama que ilustra o equilíbrio entre várias fases de substâncias constituintes de um sistema. São mapas que permitem prever a microestrutura de um material em função da temperatura e composição de cada componente. Fase é uma porção homogênea do material que tem propriedades físicas ou químicas uniformes.

A dificuldade para assimilação de conceitos associados a esses sistemas está particularmente ligada à necessidade de compreensão no campo tridimensional.

Quando é considerada a pressão constante, normalmente de 1 atm (101325 Pa), um sistema ternário é representado tridimensionalmente por um prisma cuja base é um triângulo equilátero denominado triângulo de Gibbs com lados correspondentes aos subsistemas binários e arestas correspondentes aos componentes puros e a altura do prisma correspondendo a temperatura.

Assim, uma maquete como um produto didático contribui para o objetivo de auxiliar a compreensão e aprendizado de conceitos relacionados a diagramas ternários, através da visualização tridimensional desse sistema.

Neste caso, foi desenvolvida uma maquete para o sistema Nb-Cr-B, sendo que informações experimentais relativas a esse sistema são praticamente inexistentes na literatura, tendo sido encontrado apenas um estudo referente à investigação do sistema ternário Nb-Cr-B na isoterma de 1400 °C ⁽¹⁾.

2. Materiais e Métodos

A metodologia empregada neste trabalho envolveu basicamente as seguintes etapas: (i) definição de material adequado para produção das estruturas dos subsistemas binários; (ii) corte de pedaços de arame que formam cada uma das estruturas dos subsistemas binários (iii) solda dos pedaços de arame para reprodução dos subsistemas binários (iv) preparação

de uma base de acrílico para representação do triângulo de Gibbs.

Após tentativa de emprego de diferentes materiais foi feita a opção pelo uso de arame de cobre.

Para montagem das estruturas foram utilizados como referências os binários Nb-B ⁽²⁾, Cr-Nb ⁽³⁾ e Cr-B ⁽⁴⁾ considerando a base das três estruturas na isoterma de 1000 °C, obedecendo a uma escala correspondente ao intervalo 0 a 100 % de concentração dos respectivos elementos puros situados em cada um dos vértices do triângulo de Gibbs.

O arame de cobre de dimensão 2 mm de diâmetro foi cortado, em escala apropriada, com auxílio de uma serra manual, em diversos pedaços. Os seguimentos correspondentes a cada um dos subsistemas binários foram unidos por processo de soldagem com emprego de solda prata visando à reprodução em duas dimensões dos binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B. A solda prata é utilizada na união da maioria dos metais ferrosos e não ferrosos, por ser feita a base de prata e cobre.

Para montagem da base de fixação das estruturas binárias foram preparados dois triângulos equiláteros, em acrílico incolor, obtidos através de corte de chapa de 7 mm de espessura. Os dois triângulos foram sobrepostos e fixados por três parafusos situados no ponto médio de cada um dos lados. Entre os dois triângulos, formando um sanduiche, foi colocado um gráfico de papel representando o triângulo de Gibbs produzido por “Schleicher & Schuell, referência 3352 EINBECK Bestell Nr.667751, Nr. 315½”.

Coincidindo com cada um dos vértices do triângulo, representado no gráfico de papel, foram preparados dois pequenos furos, ligeiramente maiores que o diâmetro do arame de cobre, para permitir a fixação das estruturas dos subsistemas binários formando um conjunto em três dimensões.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1A apresenta o diagrama de fases do sistema binário Nb-B ⁽²⁾, que foi a referência utilizada para a reprodução em arame conforme Figura 1B, cuja base representa a isoterma de 1000 °C.

A Tabela 1 apresenta dados das transformações invariantes do subsistema Nb-B ⁽²⁾.

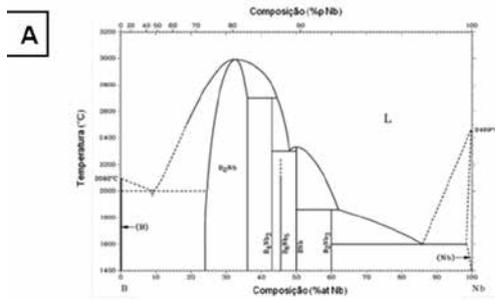


Figura 1 (A)
Diagrama de fases do sistema binário Nb-B ⁽²⁾.

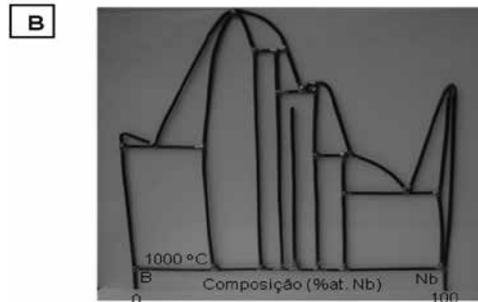


Figura 1 (B) - Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Nb-B ⁽²⁾.

Tabela 1 – Dados das transformações invariantes do sistema Nb-B (2).

Transformação	Composição do líquido (%at Nb)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
$L \leftrightarrow \beta B$	0,0	2092	Ponto de fusão
$L \leftrightarrow (\beta B) + NbB_2$	$\cong 9,0$	$\cong 2000$	Eutética
$L \leftrightarrow NbB_2$	33,3	$\cong 3000$	Congruente
$L + NbB_2 \leftrightarrow Nb_3B_4$	$\cong 44,5$	$\cong 2700$	Peritética
$L + Nb_3B_4 \leftrightarrow Nb_5B_6$	$\cong 45,5$	$\cong 2300$	Peritética
$L \leftrightarrow Nb_5B_6 + NbB$	$\cong 48,0$	$\cong 2300$	Eutética
$L \leftrightarrow NbB$	50,0	$\cong 2340$	Congruente
$L + NbB \leftrightarrow Nb_3B_2$	60,0	$\cong 1860$	Peritética
$L \leftrightarrow Nb_3B_2 + (Nb)$	$\cong 86,0$	$\cong 1600$	Eutética
$L \leftrightarrow Nb$	100,0	2469	Ponto de fusão

A Figura 2A apresenta o diagrama de fases do subsistema binário Cr-Nb ⁽³⁾, que foi utilizada como referência para a confecção em arame deste subsistema, conforme Figura 2B.

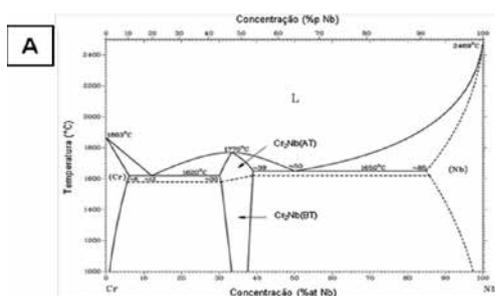


Figura 2 – (A) Diagrama de fases do sistema binário Cr-Nb ⁽³⁾.

Da mesma forma que o subsistema Nb-B, a base desta reprodução representa a isoterma de 1000 °C. A Tabela 2 apresenta dados das transformações invariantes do subsistema Cr-Nb ⁽³⁾.

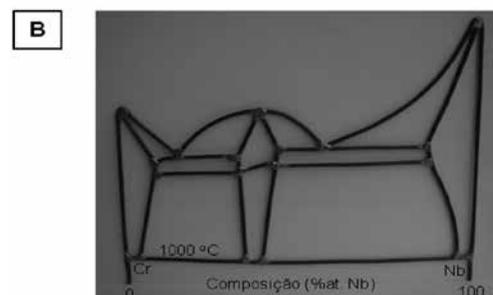


Figura 2 – (B) Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Cr-Nb ⁽³⁾.

Tabela 2 – Dados das transformações invariantes do sistema Cr-Nb ⁽³⁾.

Transformação	Composição do líquido (%at Nb)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
$L \leftrightarrow Cr$	0,0	1863	Ponto de fusão
$L \leftrightarrow (Cr) + Cr_2Nb(AT)$	$\cong 12,0$	1620	Eutética
$L \leftrightarrow Cr_2Nb(AT)$	33,3	1770	Congruente
$L \leftrightarrow Cr_2Nb(AT) + (Nb)$	$\cong 50,0$	1650	Eutética
$L \leftrightarrow Nb$	100,0	2469	Ponto de fusão

Está representado na Figura 3A o diagrama de fases referente ao binário Cr-B ⁽⁴⁾ que foi a referência utilizada para a montagem da estrutura em arame desse binário,

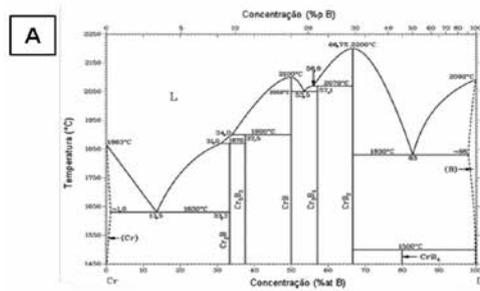


Figura 3 – (A) Diagrama de fases do sistema binário Cr-B ⁽⁴⁾.

conforme a Figura 3B, cuja base, como nos dois subsistemas anteriores, representa a isoterma de 1000 °C. A Tabela 3 apresenta dados das transformações invariantes do subsistema Cr-B ⁽⁴⁾.

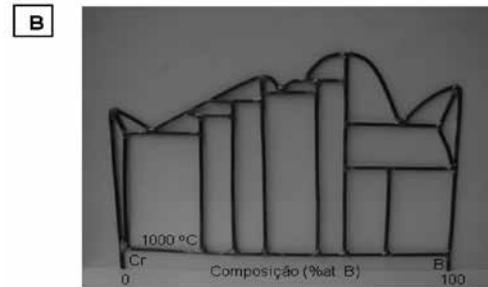


Figura 3 – (B) Reprodução em arame do diagrama de fases do sistema binário Cr-B ⁽⁴⁾.

Tabela 3 – Dados das transformações invariantes do sistema Cr-B ⁽⁴⁾.

Transformação	Composição do líquido (%at B)	Temperatura (°C)	Tipo de transformação
L \leftrightarrow Cr	0,0	1863	Ponto de fusão
L \leftrightarrow (Cr) + Cr ₂ B	13,5	1630	Eutética
L + Cr ₅ B ₃ \leftrightarrow Cr ₂ B	31,0	1870	Peritética
L + CrB \leftrightarrow Cr ₃ B ₃	34,0	1900	Peritética
L \leftrightarrow CrB	50,0	2100	Congruente
L \leftrightarrow CrB + Cr ₃ B ₄	53,5	2050	Eutética
L + CrB ₂ \leftrightarrow Cr ₃ B ₄	56,0	2070	Peritética
L \leftrightarrow CrB ₂	66,7	2200	Congruente
L \leftrightarrow CrB ₂ + (βB)	83,0	1830	Eutética
CrB ₂ + (βB) \leftrightarrow CrB ₄	80,0	1500	Peritetóide
L \leftrightarrow βB	100,0	2092	Ponto de fusão

A Figura 4A apresenta o triângulo de Gibbs com os subsistemas binários Nb-B, Cr-B e Cr-Nb rebatidos no plano basal. A Figura 4B apresenta a base para fixação dos diagramas binários, na forma de um triângulo equilátero de lado igual a

240,0 mm. A Figura 4C apresenta a maquete montada com as estruturas de arame referentes aos subsistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B e fixadas na base de acrílico nos furos feitos próximos aos vértices do triângulo representando o sistema Nb-Cr-B tridimensionalmente.

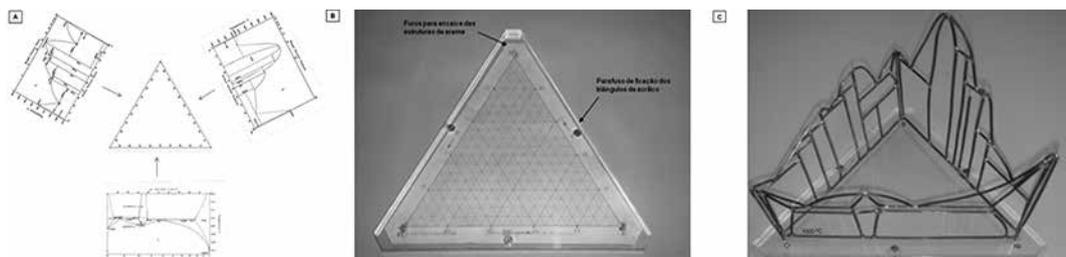


Figura 4

(A) Composição do triângulo de Gibbs do sistema ternário Nb-Cr-B, com base nos binários Nb-B ⁽²⁾, Cr-Nb ⁽³⁾ e Cr-B ⁽⁴⁾ rebatidos no plano basal.

(B) base de acrílico para fixação dos diagramas binários.

(C) Maquete dos sistemas binários Nb-B, Cr-Nb e Cr-B no triângulo de Gibbs como um produto didático de apoio ao estudo do ternário Nb-Cr-B .

4. Conclusões

A maquete construída facilita a visualização da formação das superfícies *liquidus* e *solidus* do sistema em estudo, das diferentes seções isotérmicas, das projeções de superfícies (projeção *liquidus*), das seções verticais (*isopleths*) e dos triângulos de equilíbrio (*tie-triangles*) facilitando dessa forma o entendimento do sistema e acelerando o processo de aprendizado e fixação do conhecimento de maneira lúdica e motivadora.

5. Referências Bibliográficas

1. KUZ'MA, Y.B.; TELEBUS, V.S. and KOVALYK, D.A. X-ray Diffraction Investigation of the Ternary Systems V-Cr-B, Nb-Cr-B and Mo-Cr-B. **Poroshkovaya Metallurgiya**, No. 5, (77), pp. 79-87, May, 1969.
2. MASSALSKI, T.B. Binary Alloy Phase Diagrams. **ASM International**, Vol. 1, 505-506, 1990.
3. VENKATRAMAN, M. and NEUMANN, J. P. The Cr-Nb (chromium – Niobium) System. **Bull. Alloy Phase Diagram**, 7,(5), 462-466, 1986.
4. LIAO, P.K. and SPEAR, K.E. The B-Cr System **Bull. Alloy Phase Diagrams**, 7(3), 232-237, 1986.

Endereço para Correspondência:

Maria Ismenia Sodero Toledo Faria

mismenia@uol.com.br

Centro Universitário de Volta Redonda UniFOA

Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, nº1325 – Três Poços –

Volta Redonda - RJ – CEP: 27240-560