

Ю.В. Левинский
Ю.Б. Патрикеев
Ю.М. Филянд

ВОДОРОД

В МЕТАЛЛАХ

И

ИНТЕРМЕТАЛЛИДАХ

СПРАВОЧНИК



Ю.В. Левинский, Ю.Б. Патрикеев, Ю.М. Филянд

ВОДОРОД В МЕТАЛЛАХ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДАХ

*термодинамические, кинетические и технологические
характеристики металл-водородных систем*

СПРАВОЧНИК

**Под редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.В. Левинского**

Москва
Научный мир
2017

УДК 621.762

ББК 34.3

Л34

Рецензенты:

доктор химических наук, профессор Дробот Д.В.

доктор технических наук Касимцев А.В.

Левинский Ю.В., Патрикеев Ю.Б., Филянд Ю.М.

ВОДОРОД В МЕТАЛЛАХ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДАХ. Термодинамические, кинетические и технологические характеристики металл-водородных систем : Справочник. – М. : Научный мир, 2017. – 546 с.: илл.

ISBN 978-5-91522-439-0

Приведены данные о термодинамике и кинетике систем металл – водород, сведения о технологии получения порошков гидридным способом. При обсуждении термодинамики особое внимание уделено влиянию давления водорода на равновесие и графическим методам изображения равновесия. Основные сведения о термодинамике представлены в виде изотерм или изобар равновесного давления водорода над сплавами двух- и более многокомпонентных систем. Среди кинетических данных наибольшее предпочтение отдано коэффициентам диффузии водорода в металлах и различных гидридных фазах. В технологии основное внимание уделено процессам гидрирования – дегидрирования.

Для инженерно-технических работников и специалистов металлургической, химической, машиностроительной, электронной и других отраслей промышленности.

Рекомендовано к печати Ученым советом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук.

ISBN 978-5-91522-439-0

© Левинский Ю.В., Патрикеев Ю.Б.,
Филянд Ю.М., 2017

© Издание, художественное оформление.
Издательство «Научный мир», 2017

Оглавление

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 9 |
| Условные обозначения | 13 |
| 1. Термодинамика двойных систем металл – водород | 15 |
| 1.1. Равновесие в двойных системах металл – водород..... | 15 |
| 1.2. Система литий – водород..... | 27 |
| 1.3. Система натрий – водород | 32 |
| 1.4. Система калий – водород..... | 37 |
| 1.5. Система медь – водород..... | 38 |
| 1.6. Система серебро – водород | 39 |
| 1.7. Система золото – водород..... | 39 |
| 1.8. Система магний – водород | 40 |
| 1.9. Система кальций – водород..... | 45 |
| 1.10. Система стронций – водород..... | 50 |
| 1.11. Система барий – водород..... | 54 |
| 1.12. Система скандий – водород..... | 57 |
| 1.13. Система иттрий – водород..... | 60 |
| 1.14. Система лантан – водород | 65 |
| 1.15. Система церий – водород..... | 69 |
| 1.16. Система празеодим – водород..... | 73 |
| 1.17. Система неодим – водород | 77 |
| 1.18. Система самарий – водород..... | 81 |
| 1.19. Система европий – водород..... | 84 |
| 1.20. Система гадолиний – водород..... | 85 |
| 1.21. Система тербий – водород | 89 |
| 1.22. Система диспрозий – водород..... | 91 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 1.23. Система гольмий – водород..... | 94 |
| 1.24. Система эрбий – водород..... | 97 |
| 1.25. Система тулий – водород..... | 101 |
| 1.26. Система иттербий – водород..... | 104 |
| 1.27. Система лютеций – водород..... | 108 |
| 1.28. Система алюминий – водород..... | 112 |
| 1.29. Система титан – водород..... | 115 |
| 1.30. Система цирконий – водород..... | 121 |
| 1.31. Система гафний – водород..... | 126 |
| 1.32. Система ванадий – водород..... | 131 |
| 1.33. Система ниобий – водород..... | 138 |
| 1.34. Система тантал – водород..... | 144 |
| 1.35. Система хром – водород..... | 150 |
| 1.36. Система молибден – водород..... | 152 |
| 1.37. Система вольфрам – водород..... | 154 |
| 1.38. Система марганец – водород..... | 155 |
| 1.39. Система железо – водород..... | 158 |
| 1.40. Система кобальт – водород..... | 160 |
| 1.41. Система никель – водород..... | 162 |
| 1.42. Система палладий – водород..... | 166 |
| 1.43. Система платина – водород..... | 170 |
| 1.44. Система торий – водород..... | 170 |
| 1.45. Система уран водород..... | 173 |

2. Термодинамика многокомпонентных систем

| | |
|--|------------|
| сплав – водород..... | 178 |
| 2.1. Равновесие в многокомпонентных системах | |
| сплав – водород..... | 178 |
| 2.1.1. Графические методы представления равновесия | |
| в многокомпонентных системах..... | 179 |
| 2.1.2. Аналитическое представление равновесия | |
| в многокомпонентных системах..... | 187 |
| 2.2. Системы водорода со сплавами редкоземельных | |
| металлов..... | 189 |
| 2.2.1. Системы водорода с двухкомпонентными | |
| сплавами РЗМ..... | 189 |
| 2.2.2. Системы водорода с трехкомпонентными | |
| сплавами РЗМ..... | 220 |

| | |
|---|------------|
| 2.2.3. Системы водорода со сплавами РЗМ, состоящими из четырех и более компонентов..... | 258 |
| 2.3. Системы водорода со сплавами титана..... | 283 |
| 2.3.1. Системы водорода с двухкомпонентными сплавами титана..... | 283 |
| 2.3.2. Системы водорода с трехкомпонентными сплавами титана..... | 295 |
| 2.3.3. Системы водорода с четырехкомпонентными сплавами титана..... | 326 |
| 2.3.4. Системы водорода со сплавами титана, состоящими из пяти и более компонентов..... | 340 |
| 2.4. Системы водорода со сплавами циркония..... | 348 |
| 2.4.1. Системы водорода с двухкомпонентными сплавами циркония..... | 348 |
| 2.4.2. Системы водорода с трехкомпонентными сплавами циркония..... | 356 |
| 2.4.3. Системы водорода с четырехкомпонентными сплавами циркония..... | 382 |
| 2.4.4. Системы водорода со сплавами циркония, состоящими из пяти и более компонентов..... | 394 |
| 2.5. Системы водорода со сплавами ванадия, ниобия и тантала..... | 400 |
| 2.6. Системы водорода со сплавами кальция..... | 413 |
| 2.7. Системы водорода со сплавами магния..... | 422 |
| 2.7.1. Системы водорода с двухкомпонентными сплавами магния..... | 422 |
| 2.7.2. Системы водорода с трехкомпонентными сплавами магния..... | 434 |
| 2.7.3. Системы водорода со сплавами магния, состоящими из четырех и более компонентов..... | 452 |
| 2.8. Системы водорода со сплавами других металлов..... | 459 |
| 3. Кинетика сорбции и десорбции водорода металлами, сплавами и интерметаллидами..... | 466 |
| 3.1. Кинетика и механизм взаимодействия металлов и сплавов с водородом..... | 466 |
| 3.2. Коэффициенты диффузии водорода в металлах, сплавах и интерметаллидах..... | 478 |

| | |
|--|------------|
| 4. Водородное диспергирование металлов, сплавов и интерметаллидов | 516 |
| 4.1. Водородное охрупчивание как метод диспергирования металлов и сплавов..... | 516 |
| 4.2. Применение ГСПП для получения порошков титана и циркония..... | 520 |
| 4.3. Использование гидридных технологий в получении порошков для изготовления постоянных магнитов | 528 |
| 4.4. Получение порошков вентильных металлов | 532 |
| 4.5. Двойные и поликомпонентные гидриды как источники высокочистого водорода для производства металлических порошков в замкнутом цикле | 536 |
| 4.5.1. Гидриды ИМС | 536 |
| 4.5.2. Гидрид титана | 537 |
| 4.5.3. Гидрид титана + гидрид ИМС | 539 |