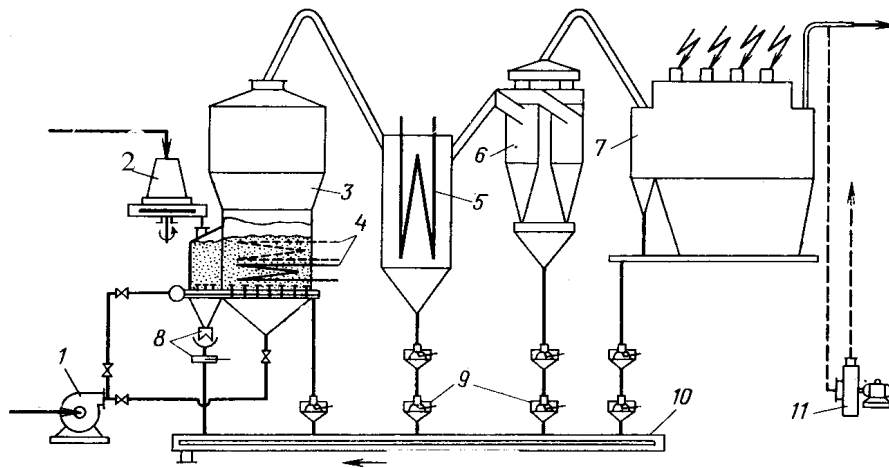


ĐỒ BÌNH

Công nghệ AXIT SUNFURIC



NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA – HÀ NỘI

Bản quyền thuộc về trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Mọi hình th

Mã số: 138-2011/CXB/103-56/BKHN

Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam

Đỗ Bình

Công nghệ axit sunfuric / Đỗ Bình. - H. : Bách khoa Hà Nội, 2011. - 188tr. : hình vẽ, bảng ; 27cm

Phụ lục: tr. 150-187. - Thư mục: tr. 188

1. Axit sunfuric 2. Công nghệ 3. Sản xuất 4. Giáo trình
661 - dc14

BKG0001p-CIP

LỜI NÓI ĐẦU

Axit sunfuric là một hóa chất thương mại rất quan trọng, được sản xuất với sản lượng lớn nhất thế giới, mức độ tiêu thụ axit sunfuric do vậy được coi như một chỉ số kinh tế quan trọng để đánh giá sức mạnh công nghiệp của một quốc gia, đặc biệt là với các nước đang phát triển. Công nghệ sản xuất axit sunfuric vì thế cũng luôn được quan tâm và không ngừng được cải tiến, hiện đại hóa để tăng năng suất và giảm ô nhiễm môi trường.

*Cuốn sách **Công nghệ axit sunfuric** do vậy được biên soạn nhằm trình bày những cơ sở hoá lý của quá trình sản xuất axit sunfuric, giới thiệu các sơ đồ kỹ thuật và các thiết bị hiện đại trong công nghiệp axit sunfuric.*

Cuốn sách được dùng làm tài liệu học tập cho sinh viên ngành Công nghệ các chất vô cơ – Viện Kỹ thuật hóa học và Khoa Đại học tại chức, trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, ngoài ra cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các cán bộ kỹ thuật sản xuất và sử dụng axit sunfuric.

Phần phụ lục kèm theo nhằm giúp cho sinh viên thuận tiện khi làm bài tập lớn và thiết kế đồ án môn học chuyên ngành, cũng như cho bạn đọc khi tra cứu các số liệu liên quan.

Tác giả

MỤC LỤC

Chương 1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG

1.1. TÍNH CHẤT CỦA AXIT SUNFURIC VÀ OLEUM	9
1.1.1. Khái niệm chung	9
1.1.2. Vài tính chất của axit sunfuric và oleum	9
1.2. TÍNH CHẤT CỦA SO_2 VÀ SO_3	16
1.2.1. Anhydrit sunfurơ SO_2	16
1.2.2. Anhydrit sunfuric SO_3	16
1.3. BẢO QUẢN VÀ VẬN CHUYỂN AXIT SUNFURIC	17
1.3.1. Bảo quản	17
1.3.2. Vận chuyển	17
1.4. GIỚI THIỆU MỘT SỐ LOẠI VẬT LIỆU ĐỂ CHẾ TẠO CÁC THIẾT BỊ SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC	17
1.4.1. Kim loại và hợp kim	17
1.4.2. Các vật liệu vô cơ	18
1.4.3. Các vật liệu hữu cơ	19

Chương 2. CHẾ TẠO KHÍ ANHYDRIT SUNFUƠ SO_2

2.1. NGUYÊN LIỆU ĐỂ SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC	20
2.1.1. Quặng pyrit	20
2.1.2. Lưu huỳnh nguyên tố (S)	21
2.1.3. Thạch cao	23
2.1.4. Các chất thải có chứa S	23
2.2. CHUẨN BỊ NGUYÊN LIỆU TRƯỚC KHI ĐỐT	25
2.3. ĐỐT NGUYÊN LIỆU	25
2.3.1. Cơ sở hoá lý của quá trình đốt nguyên liệu	25
2.3.1.1. Phản ứng cháy của nguyên liệu	25
2.3.1.2. Thành phần khí lò	26

2.3.1.3. Lượng và thành phần xỉ	28
2.3.1.4. Nhiệt cháy và nhiệt độ bốc cháy của nguyên liệu	29
2.3.1.5. Tốc độ cháy	30
2.3.2. Lò đốt nguyên liệu	34
2.3.2.1. Lò nhiều tầng	34
2.3.2.2. Lò đốt quặng bột	36
2.3.2.3. Lò lớp sôi	37
2.3.2.4. Lò xyclon	48
2.3.2.5. Lò đốt lưu huỳnh	48
2.3.2.6. Lò đốt hydro sunfua H_2S	50
2.3.3. Sử dụng xỉ và nhiệt khi đốt nguyên liệu	51
2.3.3.1. Sử dụng xỉ	51
2.3.3.2. Sử dụng nhiệt	52
2.4. TÁCH BỤI KHỎI HỖN HỢP KHÍ	53
2.4.1. Phương pháp cơ học	54
2.4.2. Phương pháp lọc điện	55
2.5. ĐIỀU CHẾ KHÍ SUNFUƠ NỒNG ĐỘ CAO	55

Chương 3. SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC THEO PHƯƠNG PHÁP TIẾP XÚC

3.1. LÀM SẠCH CÁC TẠP CHẤT KHỎI HỖN HỢP KHÍ	59
3.1.1. Cơ sở hoá lý của quá trình làm sạch khí	59
3.1.1.1. Quá trình tạo mù và tách mù	61
3.1.1.2. Sấy khí	66
3.1.1.3. Làm sạch khí không tạo mù	70
3.1.2. Sơ đồ và thiết bị làm sạch hỗn hợp khí lò	72
3.1.2.1. Sơ đồ	72
3.1.2.2. Thiết bị	74
3.1.3. Tách selen từ khí lò	81
3.1.3.1. Phương pháp nung.....	82
3.1.3.2. Phương pháp sunfua.....	82
3.1.3.3. Điều chế selen tinh khiết.....	83

3.2. OXI HOÁ SO ₂ THÀNH SO ₃	83
3.2.1. Cơ sở hoá lý của quá trình oxi hoá SO ₂ trên chất xúc tác	83
3.2.1.1. Phản ứng oxi hoá SO ₂	83
3.2.1.2. Chất xúc tác oxi hoá SO ₂	87
3.2.1.3. Điều kiện oxi hoá SO ₂ trên xúc tác vanadi	96
3.2.1.4. Ảnh hưởng của quá trình chuyển chất đến việc oxi hoá SO ₂ trên chất xúc tác vanadi	107
3.2.1.5. Tiếp xúc kép	110
3.2.2. Một số thiết bị dùng trong công đoạn oxi hoá SO ₂	111
3.2.2.1. Tháp oxi hoá	111
3.2.2.2. Thiết bị trao đổi nhiệt	116
3.3. HẤP THỤ ANHYDRIT SUNFURIC SO ₃	118
3.3.1. Cơ sở hoá lý của quá trình hấp thụ SO ₃	118
3.3.1.1. Quá trình hấp thụ SO ₃	118
3.3.1.2. Cân bằng nước trong hệ thống	122
3.3.2. Thiết bị trong công đoạn hấp thụ SO ₃	123
3.3.2.1. Tháp hấp thụ	123
3.3.2.2. Thiết bị làm nguội axit	124
3.3.2.3. Vài chỉ tiêu kỹ thuật của công đoạn hấp thụ SO ₃	127
3.3.2.4. Xử lý khí thải	127
3.3.3. Sản xuất một số dạng sản phẩm khác của axit sunfuric	128
3.3.3.1. Sản xuất axit sunfuric sạch	128
3.3.3.2. Sản xuất SO ₃ 100% và oleum đậm đặc	128
3.4. SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC THEO SƠ ĐỒ TINH CHẾ KHÔ	130
3.4.1. Sơ đồ kỹ thuật của quá trình tinh chế khô	130
3.4.2. Cơ sở hoá lý của quá trình tinh chế khô	132
3.4.2.1. Làm sạch khí lò	132
3.4.2.2. Ngưng tụ hơi axit sunfuric	133
3.4.3. Sơ đồ kỹ thuật của quá trình "tinh chế khô–tiếp xúc kép"	135
3.5. MỘT SỐ SƠ ĐỒ SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC THEO PHƯƠNG PHÁP TIẾP XÚC ĐI TỪ CÁC DẠNG NGUYÊN LIỆU KHÁC	136

3.5.1. Sản xuất axit sunfuric từ lưu huỳnh	136
3.5.2. Sản xuất axit sunfuric từ H_2S theo phương pháp xúc tác ướt	138
3.5.3. Sản xuất axit sunfuric từ thạch cao	140
3.5.4. Sản xuất axit sunfuric từ SO_2 nồng độ cao	141
3.6. CẢI TIẾN QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT AXIT SUNFURIC THEO PHƯƠNG PHÁP TIẾP XÚC ...	142
3.7. CÔ ĐẶC DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC	144
3.7.1. Cơ sở hoá lý của quá trình cô đặc dung dịch axit sunfuric	144
3.7.2. Các loại thiết bị cô đặc dung dịch axit sunfuric	145
3.7.2.1. Thiết bị cô đặc trực tiếp	145
3.7.2.2. Thiết bị cô đặc gián tiếp	147

PHỤ LỤC

Bảng I. TÍNH CHẤT CỦA AXIT SUNFURIC	150
Bảng II. NHIỆT DUNG C_p (kcal/kg.độ) CỦA DUNG DỊCH H_2SO_4	154
Bảng III. TÍNH CHẤT CỦA OLEUM	155
Bảng IV. ÁP SUẤT HƠI BẢO HOÀ TRÊN DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC VÀ OLEUM	159
Bảng V. ÁP SUẤT HƠI RIÊNG PHẦN CỦA H_2SO_4 TRÊN DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC	161
Bảng VI. NHIỆT TẠO THÀNH DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC TỪ KHÍ SO_3 VÀ NƯỚC (kcal/kg H_2O)	162
Bảng VII. NHIỆT TẠO THÀNH DUNG DỊCH OLEUM TỪ KHÍ SO_3 VÀ NƯỚC (kcal/kg H_2O)	163
Bảng VIII. NHIỆT HỖN HỢP SO_3 LỎNG VỚI NƯỚC	164
Bảng IX. NHIỆT HOÀ TAN VI PHÂN TRONG DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC VÀ OLEUM	165
Bảng X. NHIỆT DUNG CỦA CÁC KHÍ VÀ HƠI NƯỚC (cal/g.độ)	166
Bảng XI. ÁP SUẤT HƠI NƯỚC BẢO HOÀ	170
Bảng XII. NHIỆT HÀM i (kcal/kg) VÀ THỂ TÍCH RIÊNG v (m^3/kg) CỦA HƠI NƯỚC QUÁ NHIỆT Ở CÁC ÁP SUẤT	171
Bảng XIII. NHIỆT DUNG C_p (kcal/kg.độ) VÀ ENTANPY H (kcal/kg) CỦA HƠI NƯỚC	174

Bảng XIV. TÍNH CHẤT CỦA HƠI NƯỚC BẢO HOÀ Ở KHOẢNG 20 – 100°C	176
Bảng XV. HÀM ẨM d , KHỐI LƯỢNG RIÊNG ρ , NHIỆT HÀM CỦA KHÔNG KHÍ ẨM H , ĐỘ TĂNG THỂ TÍCH CỦA KHÔNG KHÍ KHÔ KHI BẢO HOÀ HƠI NƯỚC ΔV , PHỤ THUỘC NHIỆT ĐỘ ($^{\circ}\text{C}$) VÀ ĐỘ ẨM TƯƠNG ĐỐI CỦA KHÔNG KHÍ φ (%)	179
Bảng XVI. NHIỆT DUNG C_p (kcal/kg.độ) VÀ ENTANPY H (kcal/kg) CỦA LƯU HUỖNH RẮN ...	181
Bảng XVII. KHỐI LƯỢNG RIÊNG ρ , NHIỆT DUNG C_p , ĐỘ DẪN NHIỆT λ VÀ ĐỘ NHỚT μ CỦA LƯU HUỖNH LỎNG TRONG KHOẢNG 150 – 165 $^{\circ}\text{C}$	182
Bảng X VIII. NHIỆT DUNG C_p , ENTANPI ΔH VÀ ENTROPI S^0 CỦA FeS_2	183
Bảng XIX . NHIỆT DUNG C_p , ENTANPI ΔH , ENTROPI S^0 VÀ NHIỆT TẠO THÀNH Q^0 CỦA Fe_2O_3	184
Bảng XX . NHIỆT DUNG PHÂN TỬ C_p , ENTANPY ΔH VÀ ENTROPY S^0 CỦA FeS RẮN VÀ LỎNG	185
Bảng XXI . ĐỘ HOÀ TAN CỦA SO_2 TRONG DUNG DỊCH AXIT SUNFURIC	186
Tài liệu tham khảo	187

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG

1.1. TÍNH CHẤT CỦA AXIT SUNFURIC VÀ OLEUM

1.1.1. Khái niệm chung

– Trong hoá học, axit sunfuric được xem là hợp chất của anhydrit sunfuric với nước. Công thức hoá học $\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hoặc H_2SO_4 , khối lượng phân tử 98,08.

Trong kỹ thuật thì hỗn hợp theo tỷ lệ bất kỳ của SO_3 với H_2O đều gọi là axit sunfuric. Nếu tỷ lệ $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{O} < 1$ gọi là dung dịch axit sunfuric, tỷ lệ $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{O} > 1$ gọi là dung dịch của SO_3 trong axit sunfuric hay oleum hoặc axit sunfuric bốc khói.

– Thành phần của dung dịch axit sunfuric được đặc trưng bởi phần trăm khối lượng của H_2SO_4 hoặc SO_3 .

Ví dụ: axit sunfuric nồng độ 98% H_2SO_4 hoặc 80% SO_3 .

Nồng độ của oleum tính bằng % SO_3 tự do (trên 100% H_2SO_4) hoặc % SO_3 tổng. Đôi khi còn tính bằng % H_2SO_4 (lượng H_2SO_4 thu được khi thêm nước vào oleum).

Ví dụ: oleum nồng độ 20% SO_3 tự do hoặc 85,3% SO_3 tổng hay 104,5% H_2SO_4 .

1.1.2. Vài tính chất của axit sunfuric và oleum

Axit sunfuric khan là chất lỏng không màu, sánh (khối lượng riêng ở 20°C là 1,8305 g/cm³), kết tinh ở 10,37°C. Ở áp suất thường (760 mmHg) đến 296,2°C axit sunfuric bắt đầu sôi và bị phân huỷ cho tới khi tạo thành hỗn hợp đẳng phí chứa 98,3% H_2SO_4 và 1,7% H_2O . Hỗn hợp đẳng phí này sôi ở 336,5°C.

Axit sunfuric có thể kết hợp với nước và SO_3 theo tỷ lệ bất kỳ, khi đó tạo thành một số hợp chất có những tính chất khác nhau.

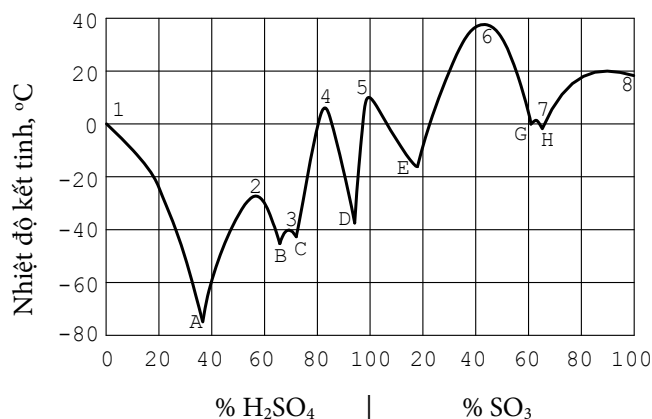
1.1.2.1. Nhiệt độ kết tinh

Dung dịch có nồng độ bất kỳ của axit sunfuric và oleum đều có thể xem là hỗn hợp của hai trong các hợp chất sau:

Bảng 1.1 Nhiệt độ kết tinh của các hợp chất giữa H_2O và SO_3

TT	Công thức	Hàm lượng, %			Nhiệt độ kết tinh, °C
		H_2SO_4	SO_3 tổng	SO_3 tự do	
1	H_2O	0,0	0,0		0
2	$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	57,6	46,9		– 24,40
3	$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	73,2	59,8		– 39,60
4	$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	84,5	69,0		8,48
5	H_2SO_4	100,0	81,6		10,37
6	$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$	110,1	89,9	44,95	38,15
7	$\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{SO}_3$	113,9	93,0	62,0	1,20
8	SO_3	122,5	100,0	100,0	16,80

Ví dụ: Dung dịch axit sunfuric nồng độ 80% H_2SO_4 chính là hỗn hợp của hai hợp chất $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ và $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; dung dịch oleum nồng độ 20% SO_3 tự do là hỗn hợp của hai hợp chất H_2SO_4 và $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$



Hình 1.1 Đồ thị kết tinh của hệ $\text{H}_2\text{O} - \text{SO}_3$

Nhiệt độ kết tinh của hỗn hợp hai chất không tạo thành tinh thể hỗn hợp luôn luôn nhỏ hơn nhiệt độ kết tinh của từng chất. Vì vậy đường cong biểu diễn quan hệ giữa nhiệt độ kết tinh của axit sunfuric và nồng độ (hình 1.1) có các cực đại ứng với các hợp chất ghi trong bảng 1.1, còn các cực tiểu ứng với các thành phần sau:

Điểm	% H_2SO_4	T° kết tinh		Điểm	% SO_3 tự do	T° kết tinh
A	38,0	– 74,5		E	18,10	– 17,0
B	68,3	– 45,7		G	61,80	1,0
C	75,0	– 41,0		H	64,35	– 1,1
D	93,3	– 37,8				

Từ đồ thị cho thấy, nhiệt độ kết tinh của dung dịch axit sunfuric và oleum tương đối cao, thậm chí ngay cả ở nhiệt độ vài chục °C. Vì vậy, thường quy định rất nghiêm ngặt nồng độ các loại axit sunfuric và oleum tiêu chuẩn sao cho chúng không bị kết tinh trong quá trình sản xuất, bảo quản và vận chuyển... Muốn vậy, các loại sản phẩm này phải có thành phần gần với những điểm otecti, tức các điểm cực tiểu trên đồ thị kết tinh.

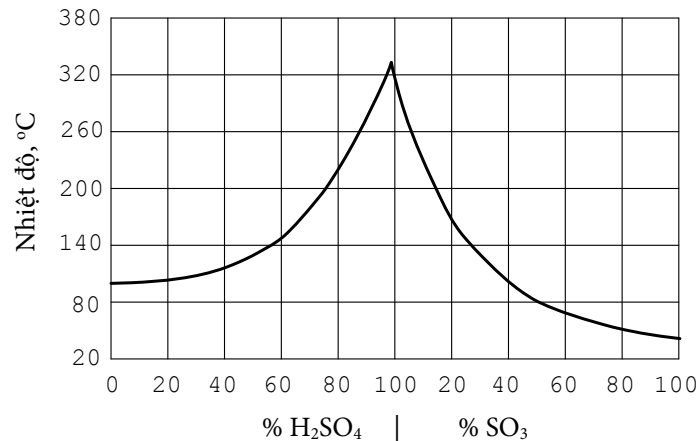
Ví dụ:

Loại axit	% H_2SO_4	% SO_3 tự do
Axit thấp	75,0	
Axit tiếp xúc	92,5	
Oleum	104,5	20
Oleum đậm đặc	114,6	65

1.1.2.2. Nhiệt độ sôi và áp suất hơi

Khi tăng nồng độ, nhiệt độ sôi của dung dịch axit tăng, đạt cực đại (336,5°C) ở 98,3% H₂SO₄, sau đó giảm.

Khi tăng hàm lượng SO₃ tự do, nhiệt độ sôi của oleum giảm từ 296,2°C (ở 0% SO₃ tự do) xuống 44,7°C (ở 100% SO₃ – tức nhiệt độ sôi của SO₃).



Hình 1.2. Nhiệt độ sôi của axit sunfuric và oleum ở 760 mmHg

Khi tăng nồng độ, áp suất hơi trên dung dịch axit giảm, đạt cực tiểu ở 98,3% H₂SO₄, sau đó lại tăng. Áp suất hơi trên oleum tăng khi tăng hàm lượng SO₃ tự do. Có thể tính áp suất hơi trên dung dịch axit sunfuric và oleum theo công thức sau:

$$\lg P = A - \frac{B}{T} \quad (1.1)$$

P: Áp suất hơi, mmHg

A, B: Các hệ số phụ thuộc nồng độ axit và oleum như sau:

% H ₂ SO ₄	20	40	60	80	98,5	100
A	8,922	8,844	8,841	9,293	9,780	9,805
B	2268	2299	2458	3040	4211	3944
% SO ₃ tự do	5	10	20	30	65	100
A	8,51	9,01	9,84	10,44	10,50	9,89
B	2750	2812	2915	2965	2510	2230

Nói chung, hơi trên dung dịch axit và oleum có thành phần khác với thành phần pha lỏng. Ví dụ: hơi trên dung dịch axit sunfuric loãng chủ yếu là hơi nước, còn hơi trên oleum phần lớn lại là SO₃. Chỉ trên dung dịch axit 98,3% H₂SO₄, thành phần pha hơi mới bằng thành phần pha lỏng.

Như vậy, khi đun nóng dung dịch axit sunfuric loãng hoặc oleum thì sản phẩm cuối cùng là axit 98,3% H₂SO₄ chứ không phải là axit 100% H₂SO₄.

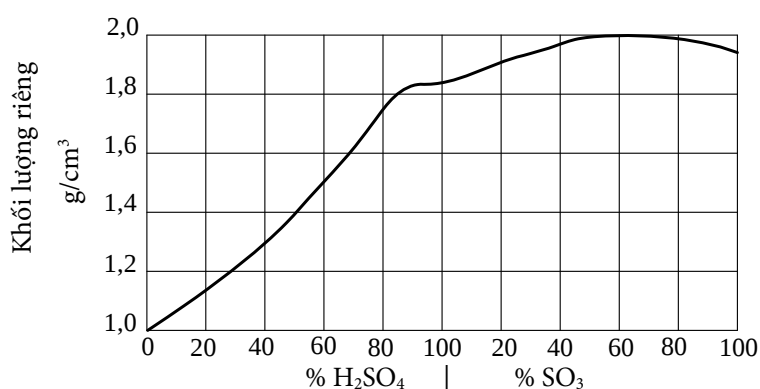
Áp suất hơi riêng phần của H₂SO₄ trên dung dịch axit sunfuric ở nhiệt độ khác nhau cũng có thể tính theo công thức (1.1) nhưng trị số A, B có khác:

% H ₂ SO ₄	85	90	93	95	98
A	7,751	7,897	8,170	8,316	9,470
B	3742	3685	3656	3637	3593

Chú ý: Các hệ số trên chỉ chính xác ở nhiệt độ dưới 250°C vì ở nhiệt độ cao có quá trình phân huỷ H₂SO₄ theo phản ứng:



1.1.2.3. Khối lượng riêng



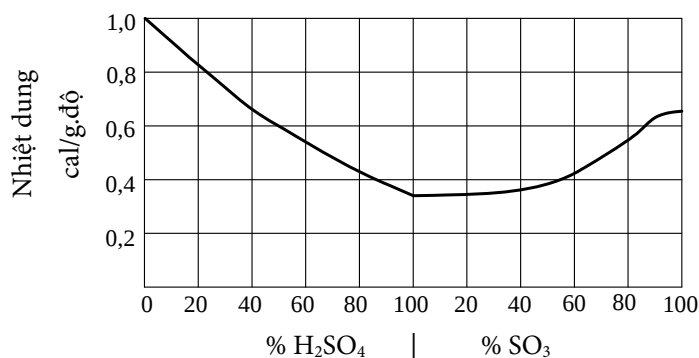
Hình 1.3. Khối lượng riêng của axit sunfuric và oleum ở 20°C

Khi tăng nồng độ, khối lượng riêng của dung dịch axit sunfuric tăng, đạt cực đại ở 98,3% H₂SO₄ sau đó giảm. Khi tăng hàm lượng SO₃ tự do, khối lượng riêng của oleum cũng tăng, đạt cực đại ở 62% SO₃ tự do, sau đó giảm. Khi tăng nhiệt độ, khối lượng riêng của axit sunfuric và oleum giảm.

Trong kỹ thuật, thường hay xác định nồng độ axit sunfuric bằng cách đo khối lượng riêng của dung dịch đó. Tất nhiên, nếu trong dung dịch có lẫn nhiều tạp chất hoặc nếu dung dịch có nồng độ lớn hơn 95% H₂SO₄ thì phương pháp trên không chính xác. Khi đó phải xác định nồng độ bằng phương pháp phân tích hoá học.

1.1.2.4. Nhiệt dung

Khi tăng nồng độ, nhiệt dung của dung dịch axit sunfuric giảm. Ngược lại, khi tăng hàm lượng SO₃, nhiệt dung của oleum lại tăng. Khi tăng nhiệt độ, nhiệt dung của axit sunfuric và oleum tăng.

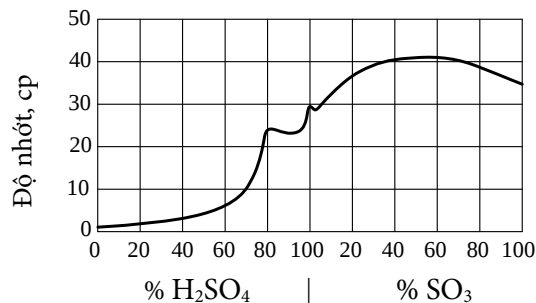


Hình 1.4. Nhiệt dung của axit sunfuric và oleum ở 20°C

1.1.2.5. Độ nhớt

Độ nhớt có ảnh hưởng rất lớn đến trở lực của axit khi chảy trong đường ống hoặc máng dẫn, đến tốc độ truyền nhiệt khi đun nóng hoặc làm nguội axit, đến tốc độ hoà tan các muối, các kim loại và các chất khác vào axit... Vì vậy nó được sử dụng khá nhiều trong các tính toán kỹ thuật.

Độ nhớt của axit sunfuric và oleum có các giá trị cực đại ở nồng độ 84,5% H₂SO₄; 100% H₂SO₄ và 50–55% SO₃ tự do. Khi tăng nhiệt độ, độ nhớt của axit giảm khá nhanh. Ví dụ: Khi tăng nhiệt độ từ 20°C lên 80°C, độ nhớt của dung dịch 60% H₂SO₄ giảm 3 lần.



Hình 1.5. Độ nhớt của axit sunfuric và oleum ở 20°C

1.1.2.6. Nhiệt tạo thành

Hiệu ứng nhiệt của phản ứng tạo thành axit sunfuric và các hợp chất trung gian ở 25°C (298°K) có các giá trị sau:

TT	Phản ứng	q, kJ/mol
1	S _{tinh thể hình thoi} + O ₂ → SO ₂	297,322
2	SO ₂ + 0,5 O ₂ → SO ₃ khí	96,144
3	SO ₃ khí → SO ₃ lỏng	39,805
4	SO ₃ khí + H ₂ O hơi → H ₂ SO ₄ hơi	124,988
5	H ₂ SO ₄ hơi → H ₂ SO ₄ lỏng	50,196
6	H ₂ O hơi → H ₂ O lỏng	44,079

Chú ý: Để xác định hiệu ứng nhiệt của các phản ứng trên ở nhiệt độ khác 298°K, phải tính lượng nhiệt cần thiết để đốt nóng hoặc làm nguội các chất ban đầu và sản phẩm từ 298°K đến nhiệt độ đó.

Nhiệt tạo thành dung dịch axit sunfuric nồng độ khác nhau (tức là lượng nhiệt toả ra khi thêm nước vào 1kg SO₃ để tạo thành dung dịch axit đó) có thể tính gần đúng theo phương trình thực nghiệm sau:

$$H = \frac{2113M}{M + 0,2013} + \frac{2,99M(t - 15)}{M + 0,062} \quad (1.2)$$

H: Nhiệt tạo thành axit sunfuric, kJ/kg SO₃

M: Lượng nước trong axit, kg/kg SO₃

$$M = \frac{100 - C}{C} \quad (1.3)$$

C: Hàm lượng SO_3 trong axit, %

(Muốn chuyển nhiệt tạo thành từ kJ/kg SO_3 sang kJ/kg H_2SO_4 thì chia kết quả cho 1,225)

1.1.2.7. Nhiệt pha loãng và nhiệt hỗn hợp

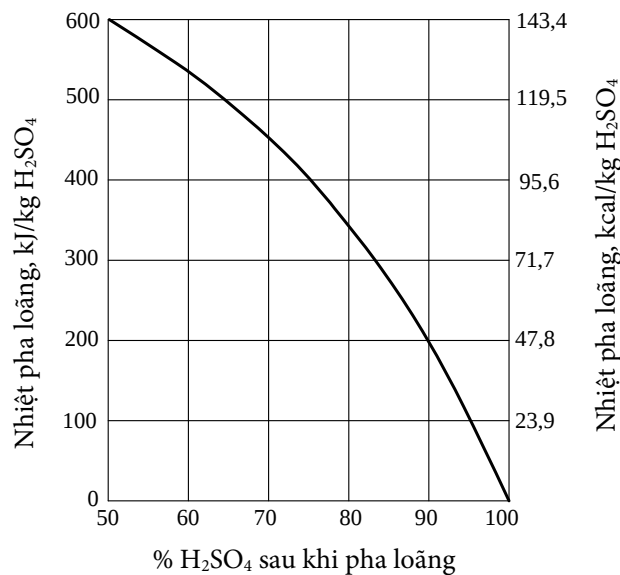
– Nhiệt pha loãng là lượng nhiệt toả ra khi thêm nước vào axit. Nhiệt pha loãng axit sunfuric từ nồng độ ban đầu C_1 xuống nồng độ C_2 có thể tính như hiệu của nhiệt tạo thành các axit đó:

$$Q_f = \Delta H = H_2 - H_1 \quad (1.4)$$

– Khi hỗn hợp các axit có nồng độ khác nhau cũng toả ra một lượng nhiệt gọi là nhiệt hỗn hợp, xác định theo công thức:

$$Q_h = H_3 + 2113 - H_1 - H_2 \text{ (kJ/kg } \text{SO}_3\text{)} \quad (1.5)$$

H_1, H_2, H_3 : Nhiệt tạo thành các axit ban đầu có nồng độ C_1, C_2 và nhiệt tạo thành dung dịch axit cuối có nồng độ C_3 (tính theo phương trình 1.2).



Hình 1.6. Nhiệt pha loãng axit sunfuric ở 15°C

Dựa vào hình (1.6) có thể xác định được nhiệt pha loãng và nhiệt hỗn hợp các axit có nồng độ khác nhau:

$$Q_h = Q_3 (m_1 + m_2 - Q_1 m_1) - Q_2 m_2 \text{ (kJ/kg } \text{SO}_3\text{)} \quad (1.6)$$

Q_1, Q_2, Q_3 : Nhiệt pha loãng vô hạn các axit ban đầu có nồng độ C_1, C_2 và nhiệt pha loãng vô hạn dung dịch axit cuối có nồng độ C_3 (xác định trên hình 1.6)

m_1, m_2 : Lượng axit đem hỗn hợp, kg H_2SO_4