

№ 12 дәріс

IVB топша элементтері. VB – топша элементтері.

Дәрістің жоспары:

1. IVB топша элементтеріне жалпы сипаттама.
2. Титан, цирконий, гафний, резерфордий және олардың қосылыстарының таралуы, алынуы, физикалық және химиялық қасиеттері.
3. VB топша элементтеріне жалпы сипаттама.
4. Ванадий, ниобий, тантал, дубний және олардың қосылыстарының таралуы, алынуы, физикалық және химиялық қасиеттері.

IV B–топша элементтері. Жалпы сипаттама. Периодты жүйеде IVB–топшада титан, цирконий, гафний және резерфордий орналасқан. Курчатовий әлі де жете зерттелмеген. Бұл элемент атомдарының сыртқы электрондық құрылысы: $(n-1)d^2ns^2$. Олар қосылыстарында ең жоғары +4 тотығу дәрежесін көрсете алады. Олардың металдық қасиеті рет нөмірі артқан сайын арта түседі.

IVB – топша элементтерінің кейбір қасиеттері 1 - кестеде келтірілген. Резерфордий қасиеттері болжам түрінде.

1- кесте. IVB –топша элементтерінің қасиеттері

Қасиеттері	Ti	Zr	Hf	Rf
Рет нөмірі	22	40	72	104
Салыстырмалы атомдық масса, а.м.б.	47,90	91,22	178,49	260
Валенттілік электрондар	$3d^24s^2$	$4d^25s^2$	$5d^26s^2$	$6d^27s^2$
Атом радиусы, нм	0,146	0,160	0,159	0,160
Салыстырмалы электртерістігі	1,32	1,22	1,23	-
Балқу температурасы, t^0 , C	1668	1855	2220	2100
Стандарт электродтық потенциалы В.	-0,163	-1,43	-1,70	-

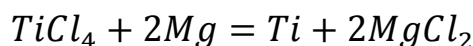
Лантаноидтық сығымдалу нәтижесінде гафнийдің радиусы цирконийдікінен кіші екені кестеден көрініп тұр.

Табиғатта таралуы және алынуы. Титан - кең тараған элемент, топырақта 0,5 % дейін болады. Құрамында титаны бар минералдарға ильменит $FeTiO_3$, титанды магнетиттер $FeTiO_3 \cdot nFe_3O_4$, рутил TiO_2 , титанит (сфен) $CaTiSiO_5$ жатады.

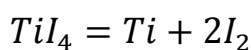
Цирконий табиғатта шашыраңқы тараған. Ол циркон $ZrSiO_4$, бадделейт ZrO_2 минералдар құрамында кездеседі.

Гафний - сирек кездесетін металл. Ол өзінше минерал түзбейді, цирконийлі минералдармен қоспа түрінде кездеседі. Мысалы, циркон мен бадделеитте оның мөлшері циркониймен салыстырғанда 2% болады.

Титанды өнеркәсіпте оның тұзынан активтірек металмен ығыстырып алады:



Гафний мен цирконийді де осылай алады. Өте таза металл алу үшін олардың йодидтерін аса қатты қызған ($1400^{\circ}C$) титан сымы арқылы өткізіп ыдыратып алады.



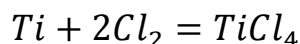
Қасиеттері. Титан, цирконий және гафний - өте жақсы металдар. Рет нөмері артқан сайын металдық қасиеттері де артады. Олар екі түрлі кристалдық тор түзе алады: төмен температуралы α – түрлері гексагональ тор, ал жоғары температуралы β – түрлері кубтық көлемдік тор түзеді.

Қалыпты жағдайда бұл металдар коррозияға, бүлдіргіш орта әсеріне төзімді. Температура артқан сайын тотықсыздандырғыш қасиеттері өседі.

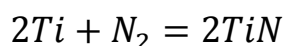
Титан, цирконий, гафний ауада оттегімен тек өте жоғары температурада әрекеттесіп оксидке EO_2 айнала алады:



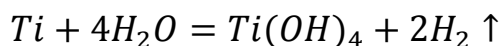
Алайда, таза оттегінде $400-500^{\circ}C$ -та олар жана бастайды. Олар галогендермен тетрагалидтер түзеді:



Жоғары температурада IVB – топша элементтері азотпен әрекеттесіп нитрид түзеді:

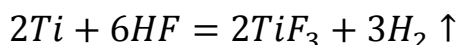


Сонымен қатар, бұл элементтер күкіртпен сульфид, көміртегімен карбидтер түзеді (ES_2 , EC). Олар қайнап тұрған сумен әрекеттесіп гидроксид түзеді:

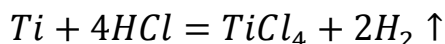


Титан, цирконий және гафний сутегін жақсы ерітіп сіңіреді (1 моль металда 2 моль сутегі ериді).

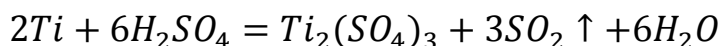
IVB –топша элементтеріне галогенсутегі қышқылдары әр түрлі әсер етеді. Балқытқыш қышқыл ерітіндісі оларды трифторидке айналдырады:



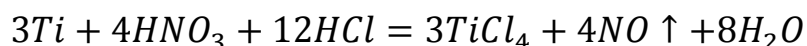
Таза балқытқыш қышқыл тетрафторид TiF_4 береді. Ол металдың бетін ғана қаптап тұрады. Газ күйдегі галогенсутегі қышқылдары оларды тетрафторидтерге тотықтырады:



Күкірт қышқылы цирконий мен гафнийге әсер етпейді. Ал титан онда ериді. Қышқыл концентрациясына байланысты әр түрлі реакция өнімі түзіледі. Сұйытылған қышқылдан титан сутегін бөледі, ал концентрлі қышқылмен былай әрекеттеседі:

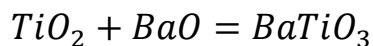
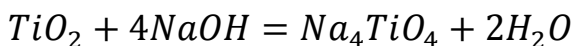


Титан, цирконий, гафнийге азот қышқылы әсер етпейді. Ол металды пассивтендіреді. Олар «патша суында» ериді.

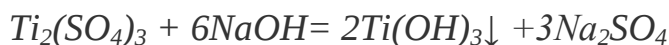
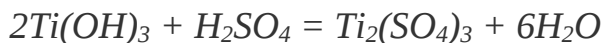


Маңызды қосылыстары. IVB – топша элементтерінің төрт валентті оксидтері тұрақты (EO_2). Олар амфотерлі оксидтер. Негіздік қасиеттері титаннан гафнийге қарай артады.

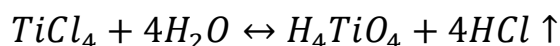
Титан, цирконий, гафний оксидтері - инертті заттар. Олар сумен, қышқылдармен әрекеттеспейді. Оларды сілтімен қосып балқытқан кезде титанат, цирконат, гафнат деп аталатын тұздар түзіледі:



Титан гидроксиді көбінесе ортотитан H_4TiO_4 не метатитан H_2TiO_3 қышқылдары түрінде болады. Ал цирконий мен гафнийге гидроксидтер тән ($Zr(OH)_4$), ($Hf(OH)_4$). Олардың негіздік қасиеті титаннан гафнийге қарай артады.



Галогенидтері суда ерігенде гидролизденеді:



Олар, көбінесе комплекс қосылыстар түзуге бейім. Мысалы, $H_2[TiCl_6]$, $K_2[TiCl_6]$ т.б.

Егер титанның тұздары гидролизге шамалы ұшыраса, титанил ион TiO^{2+} бар қосылыстар түзеді. Мысалы, $TiOSO_2$ титанил сульфаты.

Қолданылуы. IVB – элементтері ішінде титан Жерде кең тарағандықтан және айрықша физикалық, химиялық қасиеттеріне орай, оның болашағы зор. Ол авиация мен ракеталарда қолданылатын қорытпалар құрамына кіреді. Титан (IV) оксиді бояу, пластикалық масса өндірісінде пайдаланылады.

Цирконий мен олардың қорытпалары ыстыққа, қышқылға төзімді болғандықтан ядролық реактор жасауда, химиялық аспаптар, турбиналар және қорғаныс техникасын жасауда қолданылады.

Гафний нейтрондарды жақсы сіңіреді. Демек, одан ядролық реакторлар стерженьдерін жасайды.

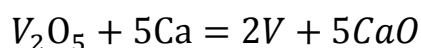
VB – топша элементтері. Жалпы сипаттама. Периодтық жүйеде VB – топшасына ванадий, ниобий, тантал және 105-ші элемент нильсборий кіреді. Ванадий мен танталдың электрондық конфигурациясы $(n-1)d^3ns^2$, ал ниобийдікі $(n-1)d^4ns^1$ болады. Ниобийдің сыртқы бір электроны ішкі d-орбитальға «құлаған». Олардың ең жоғарғы тотығу дәрежесі +5. Алайда ванадий +2, +3 және +4 тотығу дәрежесін көрсете алады. VB – топша элементтерінің кейбір қасиеттері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. VB-топша элементтерінің қасиеттері

Қасиеттері	V	Nb	Ta	Db
Рет нөмірі	23	41	73	105
Салыстырмалы атомдық масса, а.м.б.	50,94	92,91	180,95	270
Валенттілік электрондар	$3d^3 4s^2$	$4d^4 5s^1$	$4f^{14} 5d^3 6s^2$	$5f^{14} 6d^3 7s^2$
Атом радиусы, нм,	0,134	0,146	0,146	0,139
Салыстырмалы электртерістігі	1,45	1,23	1,33	-
Балку температурасы, t^0, C	-1887	-2468	-3017	-
Стандарт электродтық потенциалы В.	1,15	1,10	-	-

Табиғатта таралуы және алынуы. Жер бетінде ванадий кең тараған $1,0 \cdot 10^{-20}\%$ (салмақ). Алайда ол бір жерде емес, түрлі силикаттар мен сульфидтер кендерімен бірге шашыраңқы тараған. Маңызды ванадийлі минералдарға ванадинит $3\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2 \cdot \text{PbCl}_2$, карнотит $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2 \cdot (\text{VO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ жатады. Ниобий ($2 \cdot 10^{-4}\%$) және тантал ($2 \cdot 10^{-5}\%$) - сирек металдар. Олар темір, марганец, кендер құрамына кіреді. Егер кенде тантал көбірек кездессе танталат $((\text{Fe}, \text{Mn})(\text{TaO}_3)_2)$, ал ниобий көп болса $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{NbO}_3)_2$ колумбит деп аталады.

Ванадий қара және түсті металлургия қоқыстарын өңдеп V_2O_5 не FeVO_4 түрінде алады. Бұл кендерді тотықсыздандырып феррованадий, феррониобий немесе ферротантал алынады. Таза ванадийді металлотермия әдісімен алады:

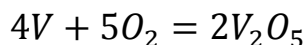


Ниобий мен тантал қасиеттері жағынан бір-біріне өте ұқсас, оларды бөлу қиын. Техникада ниобий мен танталды олардың оксидтерін электролиздеп алады.

Қасиеттері. Таза ванадий, ниобий, тантал - балқу температурасы жоғары, ақ түсті металдар. Құрамында қоспалар (O_2 , H_2 , C) болса олардың түсі, қаттылығы, пластикалығы өзгереді.

Қалыпты жағдайда ванадий, ниобий, тантал өте тұрақты элементтер.

Олардың бетін оксид қабығы сақтап тұрады. Жоғары температурада ғана химиялық реакцияға түседі. Оттегімен оксид түзеді:



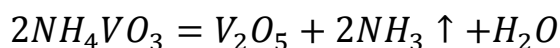
Галогендер бұл элементтермен ЭГ₃ түзеді. Ванадий тек фтормен ғана VF_5 пентафторид түзеді. Сутегі бұл металдарда еріп, гидридтер металмен қатты ерітінді түзеді. Азотпен, көміртегімен құрамы әртүрлі қосылыстар түзеді (VN , V_2N , V_2C , VC). Ұнтақ күйде VB – топша элементтері күкіртпен, фосформен бормен және кремниймен әрекеттеседі.

Ванадий, ниобий және тантал сумен, сілті ерітінділерімен әрекеттеспейді. Күкірт және тұз қышқылдары да металдардың сыртқы беткі қабықтарын бұза алмайды. Оларға тек азот қышқылы ғана әсер етеді:

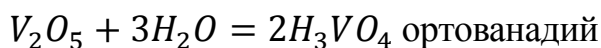
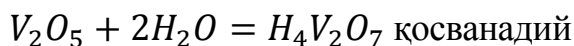


Қосылыстары. Маңызды қосылыстары – оксидтері. Олар – қатты кристалл заттар. Ванадий +2, +3, +4, +5 тотығу дәрежесін көрсететін оксидтер түзе алады. Ал басқалары үшін +5 тотығу дәрежесін көрсететін оксидтері V_2O_5 тұрақты.

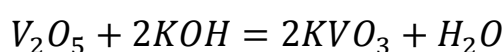
Ванадий оксидін аммоний ванадатын ыдырату арқылы алады:



Ванадий (V) оксиді суда біршама еріп, қышқыл береді.



Ниобий, тантал оксидтері суда ерімейді. Ванадий (V) оксиді сілтілерде ериді, ол ниобий (V) және тантал (V) оксидтері сілтімен балқығанда ғана әрекеттеседі.



Бұл кезде түзілетін тұздарды ванадаттар, ниобаттар, танталаттар деп атайды. Ванадийдің мета KVO_3 , пиро $K_4V_2O_7$ және орто K_3VO_4 тұздары да түзіледі.

Қолданылуы. Ванадий – атомдық, ракеталық, авиация техникасына қажет. Одан осыларға қажет ыстыққа төзімді аса қатты қорытпалар алады. Ванадий (V) оксиді V_2O_5 - күкірт қышқылы контакт әдісімен алуда қолданылатын катализатор.

Кейінгі кезде ванадий микроэлемент екені анықталды. Оның топырақтағы табиғи мөлшері 50-260мг/кг. Оны микроэлемент ретінде қолдану кезінде өсімдіктің жапырағы жасылдау болғаны, онда азот пен хлорофилл мөлшері артқаны, фотосинтез процесі байқалған. Топыраққа микротыңайтқыш ретінде аммоний метаванадиті NH_4VO_3 қолданылады. Мал мен адам үшін ванадий қосылыстары - улы.

Ниобийді ыстыққа төзімді, таттанбайтын қорытпалар алу үшін пайдаланады. Тантал газдарды жақсы сіңіретіндіктен вакуум техникасында қолданылады. Қышқылға, жылуға және басқа ортаға төзімді болғандықтан оны химиялық машина жасау өнеркәсібінде қолданады. Тантал тірі тканьдермен бірігіп кетеді. Соған орай, оны организмдегі зақымданған сүйек орнына пайдаланады.

Ниобий ақ-сұр түсті иілгіш металл, пластикалық металл; тығыздылығы 8,57 г/см³, балқу $t - 2468^\circ C$, қайнау $t - 4742^\circ C$. Тотығу дәрежесі +5, +1-ден +4-ке дейінгілері сирек кездеседі. Бөлме температурасында HCl, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄, патша арағы және NH₃ ерітіндісі әсеріне тұрақты, [фторсутек](#) және оның HNO₃ қоспасымен, [сілті](#) ерітінділері және балқымаларымен, 300 – 400⁰C -та F₂, 200⁰C -тан жоғары O₂ және Cl₂, 250⁰C -тан жоғары Br₂, H₂, 400⁰C -та N₂,

1200 – 1400⁰С -та С-пен әрекеттеседі. 1500 – 1800⁰С -та Nb₂O₅-ті көміртекпен немесе алюминиймен, K₂NbF₇-ні натриймен тотықсыздандыру, Nb₂O₅-ті K₂NbF₇ балқымасында электролиздеу арқылы алады. Оның құймалары реактивті қозғалтқыштардың, зымырандардың, газды трубиналардың, хим. аппараттардың, электронды құралдардың, эл. конденсаторлардың және асқын өткізгіш қондырғылар бөлшектерінің құрылымдық материалдары ретінде қолданылады.

Тантал – сұр түсті, қиын балқитын, коррозияға тұрақты металл. Ат. н. 73, ат. м. 180,948. Тығызд. 16,6 г/см³, балқу t - 3017⁰С, қайнау t - 5458⁰С. Табиғатта ниобиймен (Nb) бірге кездеседі. Танталды 1802 жылы швед химигі А.Г.Экеберг Финляндия мен Швецияда табылған екі минералдан ашты. Алайда оны таза күйінде оқшаулау мүмкін болмады. Бұл элементті алудың қиындығына байланысты ежелгі грек мифологиясының кейіпкері Танталдың атымен аталған. Кейіннен тантал мен «колумбий» (ниобий) бірдей деп саналды. Тек 1844 жылы неміс химигі Генрих Роуз колумбит-танталит минералының құрамында екі түрлі элемент – ниобий мен тантал бар екенін дәлелдеді.

Ванадий периодтық жүйенің бесінші тобына кіреді. Оның аналогтары ниобий мен тантал. Ванадийдің реттік нөмірі 23, атомдық массасы 50,95. Жоғары валенттілігі бес, басқа валенттілікте ванадий өзгеше, себебі валенттілік өзгергенде ерітінділердің түсі де өзгереді:

Ванадий валенттілігі Ерітіндінің түсі

5	Әлсіз сары
4	Көк
3	Жасыл
2	Күлгін

Ең тұрақты бес валентті ванадийдің қосылыстары, бұл ванадийдің атомындағы электрондардың орналасуына байланысты: 2,8,11,2. Атомның радиусы 1,36 А°. Тығыздығы 5,5-6,025 г/см³, балқу температурасы 1680°-1760⁰С (әр түрлі анықтамаларда). Ванадий металл түрінде ауада тұрақты созылмалы, жақсы өңделеді, жылтырайды. Қаттылығы болаттан жоғары. Ванадийдің реакцияшылдық қасиеттері жоғары болғандықтан, металл түрінде бөлінуі қиын. Ванадийді қыздырғанда – көміртекпен, сутекпен, азотпен, хлормен, броммен және күкіртпен әрекеттеседі. Оттеkte ванадий жанып ванадий оксидін түзеді:



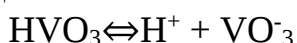
Ванадий сұйытылған қышқылдарға тұрақты. Суықта "патша сұйығында" және азот қышқылында ериді. Қыздырғанда концентрлі күкірт және фтор қышқылдарда ериді. Ванадий сілті ерітінділерде тұрақты, балқыған сілтілерде жай еріп, ванадий қышқылының тұздарын — ванадаттарды түзеді. Ванадий легирлейтін элемент болғандықтан металлургияда ролі зор. Ванадийдің әр түрлі металдармен құймалары толық зерттелген, олардың құрылымы және коррозиялық тұрақтылығы туралы мына әдебиеттерден табуға болады.

Оттектен қосылыстар

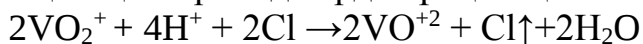
Ванадийдің барлық валенттілігіне (2-ден 5-ке дейін) сәйкес оксидтер белгілі. Ең маңыздысы ванадийдің (V) оксиді — V_2O_5 - ұнтақ түрінде қызыл-қоңыр түсті зат. Балқу температурасы $650-675^\circ C$. Ванадий оксидін ванадий металын оттектен тотықтырғанда немесе кез келген ванадий қосылыстарын термиялық ыдыратқанда алуға болады.

Ванадий оксиді суда ерімейді, сілтілердің ерітіндісінде еріп, ванадий қышқылының тұздарын — ванадаттарды түзеді. Ванадий оксиді фосфордың оксидіне ұқсас болғандықтан қышқылдың бірнеше түрін береді: метаванадий HVO_3 , диванадий $H_4V_2O_7$, ортованадий H_3VO_4 - қышқылдары.

Ванадий қышқылы (көбіне метаванадий қышқылы деп аталады) - әлсіз қышқыл (диссоциациялану константасы $1 \cdot 10^{-4}$) болғандықтан қышқыл да негіз сияқты болып мына схема бойынша диссоциацияланады:



Қышқыл ерітінділерде диссоциация екінші схема бойынша жүреді. VO_2^+ - ванадан-ион деп аталады, бұл катион тотықтырғыш қасиеттерін көрсетеді: күшті қышқыл ерітінділерде тұз қышқылын хлорға дейін тотықтырады:



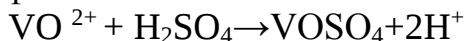
Реакция арқылы төрт валентті ванадий түзіліп, ерітінді көк түске боялады. VO^{2+} - ванадил-ион деп аталады.

Ванадийдің бес валентті қосылыстары бар улы заттарға жатады.

Ванадийдің төменгі оксидтері

Ванадийдің диоксиді - VO_2 - қара-көк немесе алу әдісіне байланысты қара-жасыл ұнтақ.

Ванадий диоксидін ванадий оксидінен тотықсыздандыру арқылы алуға болады, мысалы қымыздық қышқылымен балқу арқылы. Ванадий диоксиді - амфотерлі қасиеттер көрсетеді: қышқылдардың ерітіндісінде еріп ванадил-ионды VO^{2+} береді, ал сілтілердің ерітіндісінде ванадиттерді түзеді - гипованадий $H_2V_4O_9$ (немесе $H_2O \cdot 4VO_2$) қышқылының тұздары. Гипованадий қышқылы изополиқышқылдар сияқты қарастыруға болады, ал оның тұздары - комплексті қосылыстар ретінде $Me_2(V_4O_9) \cdot 7H_2O$. Ванадил катионы әр түрлі қышқылдармен тұздар түзеді, мысалы күкірт қышқылымен $VOSO_4$ — ванадил сульфаты:



Ванадий (III) оксидін V_2O_5 ванадий (V) оксидінен $700^\circ C$ температурада сутекпен тотықсыздандыру арқылы алуға болады. V_2O_3 - қара кристалды ұнтақ, қышқылдарда жай еріп, үш валентті катион береді V^{3+} . Үш валентті

ванадийдің тұздары сілтілермен әрекеттесіп көк түсті ванадий гидроксидін $V(OH)_3$ түзеді, ауада гидроксид тотығады. Үш валентті ванадийдің қосылыстары күшті тотықсыздандырғыштар.

Екі валентті ванадийдің оксиді VO ванадий (V) оксидінен $1700^\circ C$ температурада тотықсыздандыру арқылы алынады. VO - қара ұнтақ, қышқылдарда ерігенде екі валентті катионды береді V^{2+} . VO - күшті тотықсыздандырғыш болғандықтан сутекті судан бөліп шығарады. Бес валентті ванадийдің оксиді V_2O_5 балқыма түрінде сілті металдардың тұздарымен әрекеттесіп, суығанда ванадий бронзалары деген қосылыстар түзеді (вольфрам бронзалары сияқты) жалпы құрамы $mR_2OnV_2O_5$ (R-сілті металл). Ванадий оксиді калийдің мета- және ортофосфаттарымен әрекеттеседі.

Ванадий қышқылының тұздары - ванадаттар

Ванадий қышқылының өте көп тұздары белгілі. Ең тұрақтысы метаванадаттар, формуласы $MeVO_3$. Сілтілі металдардың және магнийдің метаванадаттары суда жақсы ериді.

Бұл тұздар — ақ немесе жасыл түсті кристалды заттар. Басқа металдардың метаванадаттары суда аз ериді, сондықтан ванадийді ерітіндіден бөлу үшін кальций ванадаты $Ca(VO_3)_2$ немесе темір ванадаты $Fe(VO_3)_3$ түрінде тұнбаға түсіреді. Басқа ванадаттардың арасында ең маңызы зор аммоний метаванадаты NH_4VO_3 .

Ерітіндіде ванадаттар ортаға байланысты ерітіндіде ванадий мен оттектің әр түрлі қатынасы бар иондары түрінде болады.

Күшті қышқылды ерітінділерде ванадий (V) үш зарядты катион VO^{3+} түрінде өмір сүреді, оның құрамында ванадийдің оттекке қатынасы 1:1. Қышқылдық азайғанда бұл қатынас та азаяды, рН 1-ге тең болғанда ерітіндіде бір зарядты катион VO^{2+} түзіледі, рН 1 мен 2 қатарда — $V_6O_{17}^{4-}$. Қышқылдық азайғанда иондардың құрамы келесі схема арқылы өзгереді: рН 4,3-4,7 аралығында $V_6O_{17}^{4-}$ иондар, $V_3O_9^{3-}$ немесе VO_3^- иондарға алмасады (метаванадий қышқылының анионы), рН 6,0-6,5 аралығында VO_3^- иондар VO_3^- иондарға алмасады (ортованадий қышқылының анионы).

Шиллер мен Тило ерітіндінің рН-ы мен ванадий иондарының арасында байланыс бар екенін көрсеткен (1 кесте).

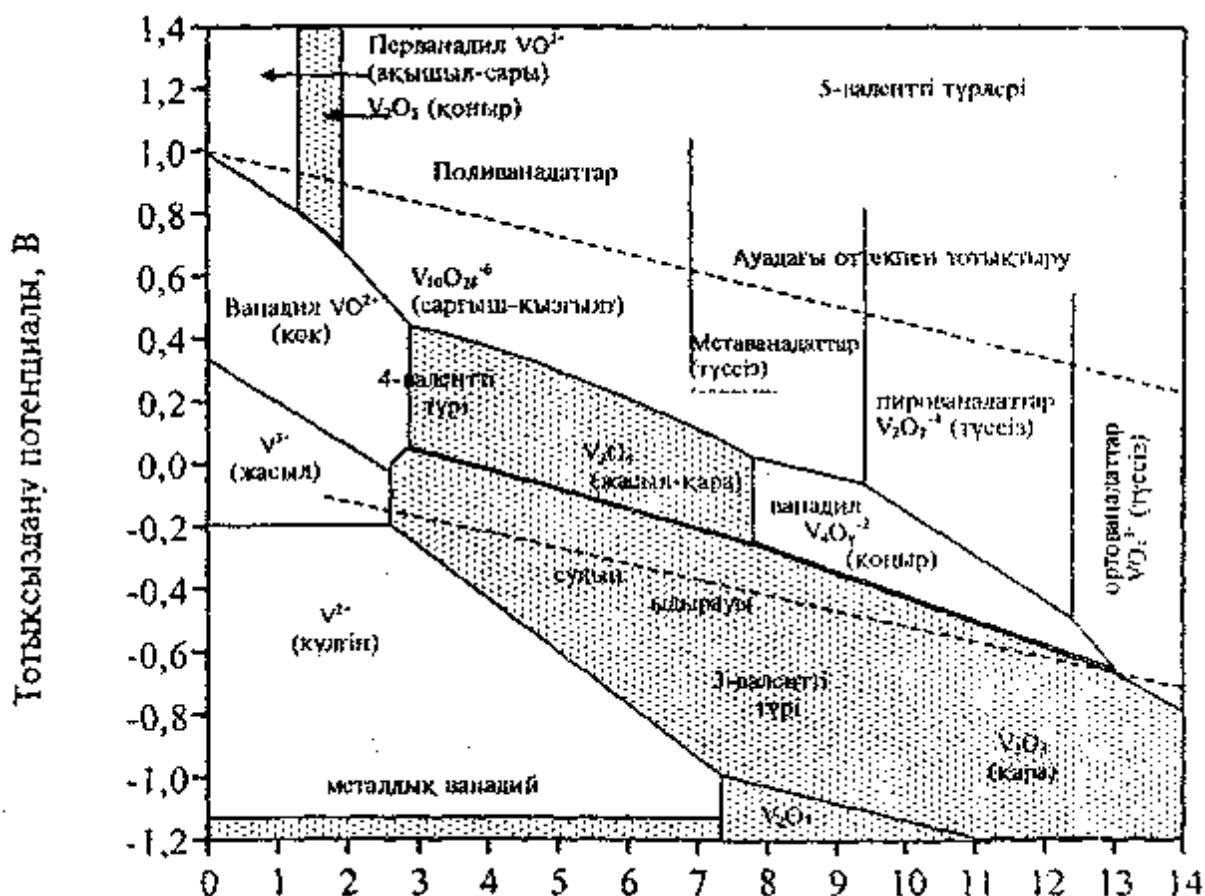
1 кесте

Ванадий иондарының ерітіндідегі рН-тан тәуелділігі

рН	Ионның құрамы	Ерітіндінің түсі
1	VO_2^+	Бозғылт сары
2	$V_2O_5 \cdot aq$	-//-
4	Декаванадаттар	Қызғылт сары
7	Метаванадаттар - VO_3^- , (V_3O_9) $^{3-}$ немесе (V_4O_{12}) $^{4-}$	Бозғылт сары
11	Пированадаттар (V_2O_7) $^{4-}$ немесе (HVO_4) $^{2-}$	-//-
14	Ортованадаттар VO_4^{3-}	Түссіздеу

pH бір шамасында VO_2 "ванадан" деген катион түзіледі. Өте қышқыл ортада (12-14 н H_2SO_4) ерітінді ашық қызғылт түске боялады, бұл тек VO^{3+} катионының түзілуіне байланысты.

Эванстың диаграммасынан ванадий ионының құрамының pH-қа байланысы жақсы көрінеді (сурет).



Сурет - Ванадий иондарының ерітіндідегі pH-тан тәуелділігі (Эванс бойынша)

Көп түрлі қосылыстарды төрт валентті ванадийдің катионы — ванадил VO^{2+} береді. Мысалы, белгілі көк түсті ванадил сульфаты $\text{VOSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, суда жақсы ериді (112г/100г суда), 520-530°C температурада қыздырғанда ыдырап, ванадий оксиді V_2O_5 түзіледі. Сонымен қатар екі қос тұздар белгілі, мысалы, ақшыл-көк түсті $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{VOSO}_4$, бұл қосылысты комплекс деп қарастыруға болады $\text{Me}_2[\text{V}_2\text{O}_2(\text{SO}_4)_3]$. Ванадий (IV) pH 1,4-тен 4,5-ке дейін оксалатпен комплекс береді, құрамы $[\text{VO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$, константасы $5 \cdot 10^{-13}$, шарап қышқылымен түзілетін комплекс тұрақсыз. Бес валентті ванадий роданидтің қатысында алдымен төрт валентті ванадийге дейін тотықсызданып, сосын роданидпен көк түсті комплекс түзеді $\text{Me}_2[\text{VO}(\text{CNS})_4]$:



Төрт валентті ванадийдің реакциялары В.И.Кузнецовтың және Л.С.Козырева жұмыстарында толық келтірілген.

Төрт валентті ванадийдің сонымен қатар бір қасиеті туралы айтып кету керек: аммоний ванадаты ерітіндісі ауада тұрғанда жарық сәуленің әсерімен

жарым-жартылай төрт валенттік күйге дейін тотықсызданып, аз еритін ванадил-ванадат $(VO)_3(VO_3)_2$ түзіп, қоңыр-жасыл түсті түрінде тұнбаға түседі:



Пероксидті қосылыстары

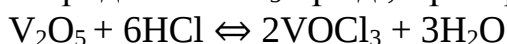
Метаванадат ерітіндісіне қышқылдатпаған сутек пероксидін қосқанда ванадийдің сары түсті пероксид қосылыстары түзіледі, олар асқын қышқылдың $H_4V_2O_{10}$ тұздары. Бұл қышқыл таза түрінде бөлінбеген. Құрамы $(NH_4)_2 \cdot H_4V_2O_{10}$ пероксид қосылысын аммоний ванадаты береді. Қышқыл ортада сутек пероксидімен қызыл-кірпіш түсті комплексті қосылыс түзіледі, құрамы $[VO(H_2O_2)]^{3+}$. Бұл реакция өте сезгіш, сондықтан ванадийді сапалық және сандық (фотометрлік әдіс) анализінде пайдаланады. Кестеде ванадийдің пероксидті қосылыстарының құрамы келтірілген.

Галогендермен қосылыстары

Бес валентті ванадий жай галогенидтерді түзбейді, тек қана ванадий фториді VF_5 белгілі, бұл фторид элементтерден $300^\circ C$ температурада түзіледі.

Төрт валентті ванадий фториді VF_4 және хлориді VCl_4 түзеді. VCl_4 - қызыл-қоңыр түсті сұйықтық, балқу температурасы $26^\circ C$, қайнау температурасы $152^\circ C$. Төрт хлорлы ванадий екі элемент әрекеттескенде қыздыру арқылы түзіледі. Төрт хлорлы ванадийді қыздырғанда ыдырап үш хлорлы ванадий VCl_3 түзіледі. VCl_3 - қызыл-күлгін түсті кристалды зат, судағы ерітіндісі жасыл түсті. Төртхлорлы ванадийді сутекпен тотықсыздандырғанда екі хлорлы ванадий VCl_2 түзіледі — жасыл түсті кристалдар, судағы ерітіндісі күлгін түсті.

Құрғақ сутек хлориді ванадий (V) оксидімен әрекеттескенде ванадийдің оксихлоридін $-VOCl_3$ түзеді, бұл сары түсті сұйықтық. Реакция қайтымды:



2 кесте

Ванадий пероксидті қосылыстарының құрамы мен түсі

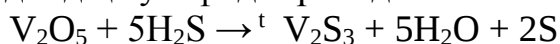
Ванадийдің бір атомына сәйкес оттектен атомдарының саны	Бастапқы ертінідідегі ванадий ионының типі					
	Кат ион	Декаванадат	Метаванадат	Пирокшышқыл	Пированадат	ортованадат
Жоқ	VO^{2+}	$(V_{10}O_2)_8^{4-}$	$(V_4O_{12})^{4-}$	$(V_2O_7H_4)^{3-}$	$(V_2O_7)^{4-}$	VO_4^{3-}
	Ақшыл-сары	Қызыл-сарғыш	Ақшыл-сары немесе түссіз			
1	VO^{3+}					

2			$(VO_3 \cdot 2O)(V_2O_7 \cdot H \cdot 2O)(VO_4 \cdot H_2O)^{2-}$ сары түсті		
3					$(VO_4 \cdot H_3O)^2(VO_4 \cdot 3O)^{3-}$ сары түсті
4					$(VO_4 \cdot 4O)^{4-}$ көк түсті

Сондықтан су қосқанда оксихлорид ыдырайды. Ванадийдің басқа оксихлоридтері белгілі — $VOCl_2$ және $VOCl$, бірақ олардың практикада мәні жоқ.

Күкіртпен қосылыстары

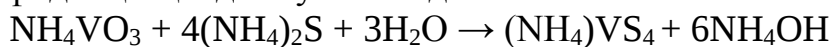
Ванадий оксидін (V) күкіртсутекпен қыздырғанда қара түсті үш валентті ванадийдің сульфиді түзіледі:



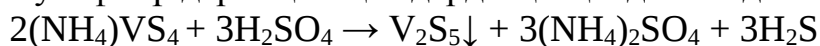
Ванадий (III) оксидін күкіртпен $350^\circ C$ температурада қыздырғанда бес валентті ванадийдің сульфидін алуға болады:



V_2S_5 аммоний сульфиді және сілтілердің ерітіндісінде еріп қызыл-шие түсті сульфотұздар түзеді. Сульфотұздарды сонымен қатар ванадий оксидін сульфидтердің ерітіндісінде ерітсе немесе аммоний ванадатына аммоний сульфидін қосқанда алуға болады:



Сульфотұздарға қышқылдарды қосқанда ванадий сульфиді бөлінеді:



Күкіртсутекті төрт валентті ванадийдің ерітінділеріне қосқанда, сульфотұздар (тиотұздар) түзіледі, қышқыл қосқанда қоңыр сульфид (V_2S_5) тұнбаға түседі.

Карбидтері мен боридтері

Ванадий екі түрлі карбид түзеді: кристалдық торы гексагональды — V_2C және кубтық - VC . Молибден, вольфрам және танталдың сәйкес карбидтерімен V_2C изоморфты, ал VC титан, цирконий, тантал және ниобийдің сәйкес карбидтеріне изоморфты.

V-B жүйесінде үш түрлі борид анықталған: VB , V_3B_4 және VB_2 ; соңғының балку температурасы — $2400^\circ C$, ал құрылымы — гексагональдық тор — титан, цирконий, ниобий және танталдың сәйкес боридтеріне изоморфты. Сонымен қатар нитридтері де белгілі V_3N және VN .

Кремниймен қосылыстары

Бірінші рет ванадийдің силицидтерін V_2O_3 және V_2O_5 кремнийдің қатысында көміртекпен тотықсыздану арқылы 1902 жылы Муассан және Холл алған. Ванадий-кремнийдің диаграммасы бойынша бірнеше фазалары бар: V_3Si , VSi_2 және V_5Si_2 .

Ванадийдің кремниймен құймалары жоғары температурада тотығуға тұрақты. V_3Si — жоғары өткізгіш.

Электрохимиялық қасиеттері

Анықтамалық кестелерде ванадийдің тотығу-тотықсыздану жұптарына келесі потенциалдар (В) келтірілген:

Жұптар	$E^0, \text{В}$
$\text{VO}_3^-/\text{VO}^{2+}$	+ 1.0 (2Н Н ₂ SO ₄)
$\text{V}^{3+}/\text{V}^{2+}$	- 0.25
$\text{VO}^{2+}/\text{V}^{3+}$	+ 0.36
V^{2+}/V	- 1.2

Тотығу-тотықсыздану жұптың $\text{VO}_3^-/\text{VO}^{2+}$ потенциалы ерітіндінің қышқылдығына байланысты. Мысалы, 27 н Н₂SO₄-те потенциалы +1,45В. Потенциалдың осындай өзгеруі ванадий ионының ерітіндіде болу күйімен байланысты. Ванадийдің тотығу-тотықсыздану қасиеттеріне негізделіп, Н.С.Сырокомский "ванадометрия" деп аталатын анализдің титриметрлік әдісін дамытты.

Бес валентті ванадий сынап электродында оңай төрт валенттік күйге дейін тотықсызданады. Металға дейін ванадийді электролизбен, цементациямен т.б. әдістермен тотықсыздануға болмайды, бұл реакцияға бөлінетін сутек кедергі жасайды.

А.С. Гончаренко және О.А. Суворованың жұмыстарында ванадийдің қосылыстарын «электртүндыру» әдісімен алу туралы мәліметтер келтірген.

Сынап электродын пайдаланып, бес валентті ванадийді қышқылды ерітінділерде оңай электролитикалық әдіспен, төрт валентті күйге дейін тотықсыздандыруға болады. Төменгі валенттік күйге дейін, сонымен қатар нормальды потенциалдары теріс санды металдарды пайдаланып алуға болады. Электролизбен және цементациямен ванадий металл түрінде алынбайды.

Тамшы сынап электродында әр түрлі фондарда ванадийдің полярографиялық тотықсыздану көп зерттелген. Ванадий әр түрлі төменгі валенттік күйге дейін тотықсызданады (металға дейін тотықсызданбайды).

Платина электродында бес валентті ванадий күкірт қышқылы ерітіндісінде оң потенциалда төрт валентті күйге дейін тотықсызданады, диффузия тогының жақсы толқыны күкірттің жоғары концентрациясында байқалады (16 н).

Минералдары мен кендері

Мыспен, мырышпен, калайымен, қорғасынмен салыстырғанда ванадийдің табиғатта таралуы көбірек, бірақ ванадийдің өзі күрделі кен орнында аз кездеседі. Табиғатта ванадий әр түрлі минералдарда қоспалар ретінде кездеседі.

Ванадий титаномагниттерде кездеседі, ванадийдің мөлшері 1,5% (V₂O₃-ке санағанда). Ванадий шашыраңқы метасиликаттарда және сульфидтерде әр түрлі валенттілік түрде кездеседі: үш валентті күйде, VO_4^{3+} -анион, комплексті қосылыстар немесе ванадий қышқылының тұздары түрінде. Ванадий фосформен және органикалық қосылыстармен кездеседі. Мысалы, темір кендерінде, әрбір көміртектерде, асфальттарда, битумдарда, мұнайда. Ванадий кейбір теңіз жануарларының денесінде — теңіз кірпісі, асцидияда, голотурияда кездеседі. Себебі ванадийдің органикалық процестерде маңызы зор, ол ванадийдің каталитикалық әсеріне байланысты.

Ванадийдің 50-ден аса минералдары белгілі. Олардың арасында ең маңыздысы - *патронит* — ванадий сульфиді. Формуласы VS_2 немесе V_2S_5 . Патронит күкіртпен, кальцитпен, кремнеземмен SiO_2 кездеседі. Күйдіргенде ванадий оксид V_2O_5 түрінде қалады, оның мөлшері 52%, басқа қо-сылыстары: темір, кремний, никель, титан, алюминий оксидтері түрінде және сульфатты күкірт қоспа түрінде қалады. Кеннің құрамы (%):

V	19.53	Fe	2.92
S _{бос}	4.50	Ni	1.87
S _{қоспа}	54,29	Si	6,88
C	3,47	Ti	0,91
H ₂ O	1,90	Al	2,00

Патрониттің күрделі кен орны Перуде кездеседі.

Роскоэлит немесе ванадий слюдасы, құрамы $KV_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ немесе $K_2OAl_2O_2 \cdot 2V_2O_5 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$. Ванадийдің мөлшері 22%. Күрделі кен орны Колорадода және Австралияда кездеседі.

Карнотит немесе уранның слюдасы $K_2U_2[VO_4]_2O_4 \cdot 3H_2O$ немесе $K_2O \cdot 2U_2O_3 \cdot V_2O_5 \cdot 2H_2O$, химиялық құрамы: 10,44% K_2O ; 63,4% UO_3 ; 20,16% V_2O_5 ; 5,99% H_2O . Ең маңызды кен орны — Колорадо (АҚШ) және Катанга (Конго).

Тюямунит $CaU_2[VO_4]_2O_4 \cdot 8H_2O$ немесе $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$. Құрамында 59,96% UO_3 және 19,06% V_2O_5 .

Ванадинит - қорғасын ванадаты $Pb_5(VO_4)_3Cl$, құрамында P_2O_5 As_2O_5 т.б. азғана қоспалары бар.

Деклуазит $(Zn, Cu)Pb(VO_4)OH$, құрамында 22,7% V_2O_5 бар.

Қазақстанда (Қаратаудың солтүстік батысында) 1959 жылы бірнеше ванадийдің минералдары табылған. Олардың арасында: ортованадаттар - *гуцевичит* $Al_3[(P,V)]_2(OH)_3 \cdot nH_2O$, *альванит* $Al_3(VO_4)(OH)_6 \cdot 2,5H_2O$, *русаковит* $Fes(VO_4)_2(OH)_9 \cdot 3H_2O$; поливанадаттар — *ваналит* $NaAl_8V_{10}O_{38} \cdot 30H_2O$ *сампаевит* $6Al_2O_3 \cdot V_2O_4 \cdot 3V_2O_5 \cdot 3H_2O$, *боксит* $(Fe, Al)_6V_4V_{,2}O_{47} \cdot 18H_2O$.

Бірақ ванадий көбінесе басқа минералдардан және кендерден алынады, олардың құрамында ванадий қоспа түрінде кездеседі. Мысалы, темірдің кендері титаномагнетиттер, апатиттер, бокситтер, топырақтар, фосфаттар, асфальттар, асфальтиттер, битумдар, мұнай, уран кен орындары.

Технологиясы

Ванадийді кендеріне байланысты әр түрлі байыту әдістері қолданылады. Патрониттерді байыту үшін оларды күйдіреді. Мысалы, карнотит жарық түсті минерал болғандықтан оны қолмен жай жинайды. Кендерге байланысты флотация әдістерін пайдаланады.

Ванадийдің кендерін өңдегенде біріншіден ванадий оксиді V_2O_5 немесе ванадаттар алынады, сосын оларды өңдеп феррованадий немесе таза ванадийдің қосылыстары және ванадий металы алынады.

Ванадий кендерін өңдеу үшін әр түрлі ыдырау әдістері қолданылады, олардың ішінде қышқылдармен немесе сілтілермен ыдырату.

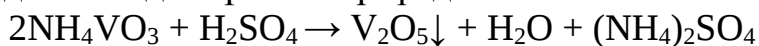
Сілтілермен ыдыратқанда ванадий ерітіндіге алмасады, бірақ ерітіндіде ванадиймен бірге алюминий мен кремний болғандықтан оларды бөлу керек.

Ванадийдің шикізаттарын өңдегенде кең тараған әдіс — натрий хлориді қатысында күйдіру. Табиғаттағы қосылыстарда және шлактарда ванадий үш валентті күйде болады. Күйдіргенде ванадий бес валентті күйге дейін тотығып, ванадий оксидін V_2O_5 түзеді. Натрий хлоридінің ролі — ванадий оксидін натрий ванадатына айналдыру.

Ванадийді шөгінді кендерден алу

Ванадийдің негізгі көздері - темір кендері. Ең маңызды технологиялық операция - ванадийдің ерітінділерін фосфордан бөлу. Фосфордан бөлу үшін ерітінділерді аммиакпен бейтараптандырып, кальцийді тұнбаға $Ca_3(PO_4)_2$ түрінде түсіреді, ванадий аммоний ванадаты түрінде ерітіндіде қалады.

Ванадийді ерітіндіден немесе кальций ванадаты түрінде, кальций гидроксидін немесе кальций хлоридін қосып тұнбаға түсіреді. Немесе аммоний ванадаты ерітіндісіне жайлап күкірт қышқылын қосу арқылы ванадий оксидін тұнбаға түсіреді:



Ванадийді титаномагнетиттерден алу

Титаномагнетит — комплексті шикізат, одан темірді, титанды және ванадийді алуға болады. Басқа кендермен салыстырғанда титаномагнетитте ванадийдің мөлшері жоғарылау және фосфор жоқ. Сондықтан титаномагнетиттер өнеркәсіпте ванадийді алу үшін пайдаланылады.

Титаномагнетиттерді үш жолмен өңдейді:

- а) тура тотықсыздану;
- б) химиялық әдіс;
- в) металлургиялық өңдеу арқылы ванадийді шламдардан бөлуі.

Ең көп пайдаланылатын — металлургиялық әдіс. Бұл әдісте ванадийдің шойындары және шлак алынады. Ең соңында шлақты химиялық әдістермен өңдейді.

Феррованадийді алу

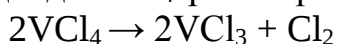
Феррованадий ванадий оксидінен V_2O_5 немесе кальций ванадатынан феррокремниймен (силикотермиялық әдіс) немесе ұнтақ алюминий металымен (алюминотермиялық әдіс) тотықсыздану арқылы алынады /242, 290/.

Ванадий металын алу

Ванадий металы әр түрлі әдістермен алынады. Мысалы, ванадий оксидін тотықсыздандыру арқылы. Тотықсыздандырғыш ретінде кальций металын пайдаланады. Тотықсыздану процесін герметикалық болаттан жасалған ыдыста (бомба) өткізеді. Бірақ бұл әдіспен таза ванадийді алу үшін бастапқы материалдарды тазалау керек және кальцийдің артық мөлшерін пайдалану керек. Бұл әдіс күрделі және қымбат болғандықтан өнеркәсіптік салада аз пайдаланады.

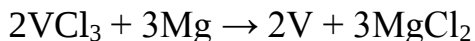
Басқа әдіс — хлорид әдісі. Бұл әдісте ванадий металын үш хлорлы ванадийді магний металымен тотықсыздандыру арқылы алады ("Кролл әдісі"). Бастапқы материал ретінде феррованадий (ванадийдің мөлшері 80%) пайдаланады. Арнайы қондырғыда феррованадийге газды хлор қосып сұйық

VCl_4 алынады, сосын оны қайнатады. Инертті газ жіберіп (мысалы, CO_2), осы жағдайда VCl_4 үш хлорлы ванадийге VCl_3 айналады:



Үш хлорлы ванадий қатты зат түрінде бөлінеді.

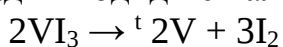
Үш хлорлы ванадийді аргонның атмосферасында болатты ыдыста балқытылған магний металымен тотықсыздандырады:



Ванадий металы губка түрінде бөлінеді, оның тазалығы 99,5%. Магний металының және магний хлоридінің қалдықтарын сумен жуып және вакуумдық дистилдеу арқылы ванадийден бөледі.

Бірінші әдіспен салыстырғанда ванадий металы таза болып алынады.

Аса таза ванадий йодид әдісі арқылы алынады ("Ван-Аркельдің әдісі"). Ванадий бұл әдісте 800-900°C температурада термиялық диссоциация арқылы ванадий йодидінен алынады:



Ванадий металы 1400°C температураға дейін қыздырған вольфрам сымында бөлінеді.

Электролиттік әдіспен ванадий бөлінбейді.

Ванадийдің технологиясы туралы келесі монографиялардан қарастыруға болады:

Аналитикалық сипаттамасы

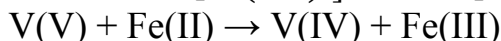
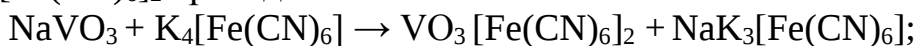
Силикаттарды және тау кендерін анализдегенде кремний қышқылын бөлсе ванадий төрт валенттік күйге дейін тотықсызданады, ал басқа металдар ерітіндіде қалады. Аммиакты қосқанда ванадий темірмен тұнбаға түсіп, бес валентті күйге дейін тотығады. Қышқыл ерітіндіде күкіртсутекті қосқанда ванадий төрт валентті күйге дейін тотықсызданып ерітіндіде қалады. Осындай ерітіндіге аммоний сульфидін қосқанда тұнбаға аз еритін ванадийдің оксисульфиді VOS түседі. Аммоний сульфидін бес валентті ванадий ерітіндісіне қосқанда қызыл-шие түсті суда еритін ванадийдің сульфо-тұздары түзіледі. Бұл реакция арқылы ерітіндіде бес валентті ванадийді анықтауға болады — *сапалық реакция*.

Қышқылды ортада бес валентті ванадийге өзіне тән тотықсыздану реакциялары пайдаланады, тотықсыздандырғыш ретінде: күкіртті оттек SO_2 , қалайы хлориді, екі валентті темірдің ерітінділері, аммоний роданиді, теріс потенциалды металдар және олардың амальгамалары қолданылады. Төменгі валенттікке дейін тотықсызданғанда ерітіндінің түсі өзгереді, соған қарап ванадийдің тотықсыздану процесін байқауға болады.

Төрт валентті ванадийдің аналитикалық реакциялары толық В.И.Кузнецовтың және Л.С.Козыреваның жұмыстарында келтірілген /260/.

Ванадийдің *сандық мөлшерін* анықтауда ең белгілі әдістер — *титриметрлік және фотометрлік*. *Гравиметрлік әдістер* аз пайдаланылады. Гравиметрлік әдісте ванадийді тұнбаға түсіру үшін қорғасынның және сынаптың тұздары және оксихинолин немесе купферон пайдаланады.

Фотометрлік әдістердің ішінде кең тараған екі реакция: пероксидпен түзілетін қызғылт-сары түсті және сары түсті фосфор вольфрам ванадий комплексті қосылыстар. Ванадийді органикалық реагенттерді /292/ пайдаланып фотометрлік әдіспен анықтауға да болады. Ванадийді ферроцианидпен анықтауға болады: ванадийдің және ферроцианидтің арасында тотығу-тотықсыздану реакциясы өтіп, көк түсті ферриванадил $\text{VO}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ түзіледі:

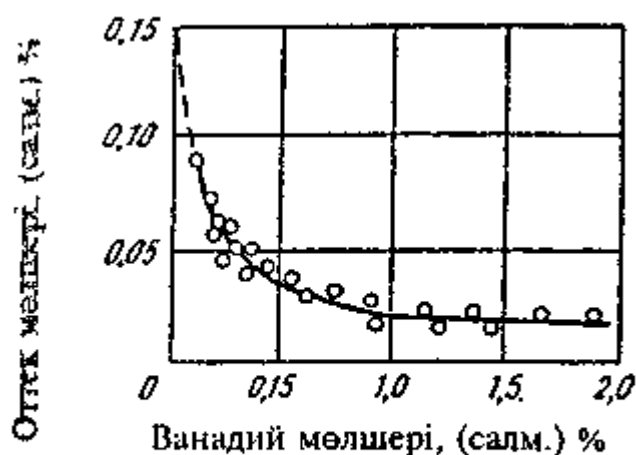


Төрт валентті ванадий йодидтің және калий йодатының арасындағы тотығу-тотықсыздану реакцияны катализдейді, осы реакцияны ванадийдің аз мөлшерін анықтау үшін (5-50 мкг) пайдаланады. Ванадийдің мөлшерін реакция арқылы бөлінген йодтың мөлшерімен анықтайды.

Ванадийді алюминийде анықтау үшін оны органикалық ерігіштермен диэтилдитикарбонат түрінде экстракциялайды, сосын азот қышқылын және пероксидті қосып, фотометрлік әдіспен анықтайды.

Молибден мен ванадийді бөлу үшін *хроматографиялық әдісті* пайдаланады.

Болаттарда және шойында ванадийді *титриметрлік әдіспен* анықтайды, бұл әдіс бес валентті ванадийдің Мор тұзын ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) қосқанда тотықсыздану реакциясына негізделген. Осы әдісте ванадийді Мор тұзымен тура титрлеуге болады немесе Мор тұзының артық мөлшерін қосып, сосын екі валентті темірдің мөлшерін аммоний персульфатымен ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) тотықтырады, тотықсызданған ванадийді перманганатпен титрлейді. Бұл әдісте титрлеудің соңғы нүктесін индикатордың көмегімен — фенилантранил қышқылы немесе потенциометрлік әдіспен анықтауға болады. Титрлеудің соңғы нүктесін амперометрлік әдіспен де анықтауға болады. Титрлеуді платина электродында екі валентті темірдің тотығуы электр тоғы потенциалы + 1,0В тең болғанда өткізеді. *Амперометрлік әдісті* екі индикаторлы электродтарды пайдаланып өткізуге де болады.



Темір құрамындағы оттегі мен ванадий мөлшерлері арасындағы тәуелділік

Ванадийді қолдану

Ванадийдің техникада маңызы өте зор. Алдымен ванадий ерекше болаттар өнеркәсібінде пайдаланылады. Ванадийдің қатысында болаттың құрылысы ұсақ дәнді және біртекті болады, жабысқақтығы жоғарылайды, барлық механикалық қасиеттері жақсартылады, балқыту қасиеттері жоғарылайды.

Ванадий сонымен қатар болаттағы оттектің мөлшерін төмендетеді. Темірдегі оттектің мөлшері ванадий мөлшерінің өсуімен 7 суретте келтірілген қисық бойынша өзгереді. Ванадийден күштірек мұндай қасиет тек кремнийде ғана бар.

Ванадийдің әр түрлі құймалары және олардың қасиеттері туралы У. Ростокердің монографиясында жазылған.

Ванадийді және оның құймаларын ядролық реакторда пайдаланады, себебі ванадийдің балқу температурасы және басқа балқымаларға тұрақтылығы жоғары.

Ванадий активті катализатор болғандықтан химиялық өнеркәсіпте маңызы зор. Күкірт қышқылы алынғанда ванадий катализаторы (V_2O_5) пайдаланады. V_2O_5 – катализатор ретінде әр түрлі органикалық химиядағы реакцияларда пайдаланылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Шоқыбаев Ж. Ә. Бейорганикалық химия: оқу құралы / Ж. Ә. Шоқыбаев. - Алматы : KemeI kitap, 2023. - 408 б.
2. Құлажанов, Қ. С. Бейорганикалық химия : Оқулық / Қ. С. Құлажанов, М. Ш. Сүлейменова, Қ. И. Иманбеков. - Алматы: Дәуір, 2011. - 256 б.
3. Шрайвер Д. Бейорганикалық химия : Екі томдық. Оқулық / Алматы: Полиграфкомбинат ЖШС. Т. 1/П.Эткинс.- 2012.-749б.
4. Шрайвер, Д., Эткинс П. Бейорганикалық химия: Оқулық: 2-томдық. 1-том/Қазақ тіліне ауд. Р.Г.Рысқалиева, А.И. Ниязбаева; ҚР Білім және ғылым министрлігі, ҚР Жоғары оқу орындарының қауымдастығы. - Алматы: Полиграфкомбинат, 2012. - 760 б.
5. Шолақтегі Ә. Бейорганикалық химия : оқу құралы / Алматы : Alem book, 2023. - 188 б.
6. Ж.Ә.Шоқыбаев, Д.Ә. Қаражанова, М.А.Оразбаева Бейорганикалық химияның теориялық негіздері және элементтер химиясы практикумы // Оқу құралы. Волкова Н.А. Алматы. 2013.-248 б.,
7. Ж.Ә.Шоқыбаев, Д.Ә. Қаражанова Д.Ә., М.А.Оразбаева. Химия есептері мен жаттығулары: Оқу құралы. – Алматы : Абай атындағы ҚазҰПУ «Ұлағат», Алматы - 2020ж. -242 б.

Қосымша әдебиеттер:

1. Н. К. Ахметов Неорганическая химия. – Алматы:КазНПУ им.Абая «Ұлағат».Ч. 1.– 2017.–220 с.
2. Керімбаева К.З. Бейорганикалық химия. Оқу құралы.- Шымкент. 2015. -154 б.

Интернет ресурстары:

1. <https://elib.kz/ru/search/>
2. <https://rmebrk.kz/book/69458>
3. <https://onlinelibrary.wiley.com/>
4. <https://academic.oup.com/books?login=true>