

УДК: 546.3-D34.14:546.881

РОЗРОБКА КОЛОРИМЕТРИЧНОГО МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ ВАНАДІУ В СТАЛЯХ ТА ЇХ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУКАХ

Омельянчик Л.О. д. фарм. н., проф., Синяєва Н.П., к.х.н. доцент,
Горобей І.В., студент

Запорізький національний університет Україна, 69600, г. Запоріжжя, вул. Жуковського 66
cool.valik0@yandex.ua

Розроблено методику спектрофотометричного визначення ванадію з реагентом (1-(2-піридилазо)-2-нафтол (ПАН)). Вивчено залежність виходу комплексу ванадію з ПАН від рН, світло поглинання при $\lambda=560$ нм. Утворення стійкого комплексу ванадію з ПАН відбувається при рН=2,5. Методом ізомольярних серій встановлено, що структура комплексу ванадію з ПАН при рН=2,5 відповідає складу М:R=1:1. Розроблена уніфікована методика визначення ванадію в сталях.

Ключові слова: сплави, ванадій, титриметричний метод, фотоколориметричний метод, рН-метр, органічний реагент.

РАЗРАБОТКА КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СТАЛЯХ И ИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Омельянчик Л.А. док. проф. фарм. н., Синяева Н.П., к.х.н. доцент, Горобей И.В., студент

Запорожский национальный университет Украина, 69600, г. Запорожье, ул. Жуковского 66

Разработана методика спектрофотометрического определения ванадия с реагентом (1-(2-піридилазо)-2-нафтол (ПАН)). Изучено зависимость выхода комплекса ванадия с ПАН от рН, светопоглощением при $\lambda=560$ нм. Установлено, что образование устойчивого комплекса ванадия с ПАН происходит при рН = 2,5. Методом изомольярных серий установлено, что структура комплекса ванадия с ПАН при рН = 2,5 соответствует составу М:R = 1:1. Разработана унифицированная методика определения ванадия в сталях.

Ключевые слова: сплавы, ванадий, титриметрический метод, фотоколориметрический метод, рН-метр, органический реагент.

DEVELOPMENT CIRCLE RYMETRYCHNOHO METHOD FOR DETERMINING VANADIUM IN STEEL AND INORGANIC COMPOUNDS

Omelianchik L.A. doc. Prof. of Pharm. Sciences Dean of the Biological Faculty, Synyayeva N.P,
Associate Professor, Horobey I.V. student

Zaporizhzhya National University of Ukraine, 69600, Zaporozhye, st. Zhukovsky 66

The method of spectrophotometric determination using output systems vanadium. Studied and conducted experimental dependence svitlopohlynannya at $\lambda=550$ nm.. It was established that the formation of a stable complex with PAN vanadium occurs at рН = 2.5. The method izomolyarnyh series found that vanadium complex structure of PAN at рН = 2.5 corresponds to the composition M: R = 1: 1. The method of determination of vanadium in steels. The optimum condition for the quantitative determination of vanadium is a method of calibration curve using standard samples.

INTRODUCTION

Vanadium - free form of silver-gray metal appearance similar to steel, it is quite hard, but at the same time ductile metal. The melting point of 1920⁰C, boiling point of about 3400⁰C. The crystal lattice of cubic space centered, setting a = 0.3024 nm. Chemically inert vanadium enough. It is resistant to sea water, dilute solutions of hydrochloric, nitric and sulfuric acids, alkalis.

Main area zastosuvannya vanadium production of fine iron and steel. The addition of vanadium provides high performance alloys for the aerospace industry. It is widely used as a kata-lizator receipt sulfuric acid [1]. Due to the lack of existing enterprises processing ore containing vanadium, Ukraine has to import the metal compound. However, each year in the petrochemical industry produced 15,000 tonnes of spent catalysts used in hydrotreating processes oil [2]. These waste catalysts contain valuable components in quantities sufficient for effective removal: V₂O₅ content reaches 7% multicomponent structure makes the entire approval of such raw materials in Ukraine no technology

process used catalysts petrochemical industry, which take into account all environmental and economic requirements of modern technology [3].

To trace element vanadium is part of microorganisms, plants and animals. These properties determine the need for analytical monitoring of vanadium in the environment. With dispersible, it is often found as contaminants in various minerals and rocks [4]. Migration, dispersion and concentration of vanadium in the biosphere is done by extracting it from the water by living organisms, plant and animal foods from different species and by releasing it from the decomposition and mineralization of organic matter [5]. The content of vanadium in soil 10.2% in plants - 10.4%, in mammals and humans - 10.5%. Vanadium in vivo role as a catalyst oxidation-reduction processes [6]. But many of its compounds - toxic. The most toxic compounds have the degree of oxidation of vanadium +5. Chemistry of Natural vanadium is extremely diverse and sometimes so complicated that there is still no consensus on the nature and conditions of the existence of some forms of this element .

Vanadium may be present in steels in the form of stable stoichiometric carbides are not simple and in a state of solid solution in iron. Vanadium is introduced into the steel as a separate component to provide special mechanical properties, as well as rozkysnyka [8]. The composition of vanadium in steels usually limited 0,2-1,0 weight. %. However, some brands vanadium steel composition is 0.5 to 3 wt. % [9]. Significant quantities of vanadium of a few hundredths of a percent, can be found in most steels, where it comes from charge materials [10].

Effect of vanadium on the mechanical properties of thermally improved steel can be seen in Fig. 1.1, which shows the change in mechanical properties of non-alloy steel in comparison with the properties of vanadium steel containing 0.21 and 0.37 wt. % At different temperatures. The presence of vanadium in an amount of about 0.2. % Or more causes a significant increase in the durability of steel. At temperatures above 400 0C slowing dramatically fall tensile strength and hardness, while about 550 0C recession manifested effect of secondary hardness. On the effectiveness of the steel for resistance against recession vanadium exceeds all other elements [11]. Increased strength in giving vanadium steel simultaneously accompanied by a decrease in ductility and toughness. Vanadium alloys also exhibit increased short-term and long-term durability in a heated state. This effect is due mainly karbidoutvorennya processes, there is only a thermally-improved condition and provided that the operating temperature of the steel does not exceed 600-650 0C [12].

Thus, we have a wide range of controlled items, vanadium has a different shape of their content, which determines their properties. In connection with the above issues to develop standardized methods for determining the appropriate vanadium task relevant.

Objective: To study the equilibrium complexation of vanadium (V) with PAN in aqueous micellar environment, depending on acidity, develop a method of spectrophotometric determination using output systems depending on pH and experience regarding its alloys.

MATERIALS AND METHODS

As the results of the study were used the following samples steels: 13H14N3V2FR and XH55BMTKYU. Experiments on the development of methods to determine the quantitative content of vanadium in steels made in chemical analytical laboratory of JSC "Motor Sich" and DNDP Institute of titanium [13].

In this paper, the development of methods for determination of vanadium fokolorymetrychnoho method used photoelectric spectrophotometer type СРК-3.

RESULTS AND DISCUSSION

Jonah V (V) form of 1- (2-pirydylazo) - 2 - naphthol - a complex compound of red-green color, soluble in acidic aqueous micellar environment with maximum absorption at a wavelength of 560 nm.

Figure 3 shows the experimental dependence svitlopohlynannya at λ_{mah} depending on the mass fraction etoksylaurylsulfatu sodium in water. Svitlopohlynannya remains almost constant in the range of $w = 1.5-3.0\%$. Further studies were carried out at $w = 3\%$ surfactants

Studied the solubility of the complex depends on the pH values at constant concentrations of reactant and vanadium (V) and output dependence on pH systems. The minimum solubility of vanadium complexes with PAN observed at pH = 3.5. Maximum output complex compound V (V) with 1- (2-pirydylazo) -2-naphthol is observed at pH 2,4-2,5

As shown in Fig. 4 dependence of the yield complexes of vanadium (V) is observed in the pH range of pH 6.5 to 1.5. The trend of decreasing values svitlopohlynannya complexes in acidic medium indicates the almost complete destruction of pH <1. In determining vanadium can measure a maximum output of complex pH = 2.5. We can therefore conclude that the vanadium complex formation with PAN at pH = 2.5. The next step was to determine the complex method izomolyarnyh series

The complex V (V): 1- (2-pirydylazo) -2-naphthol (1: 1) determined by the method izomolyarnyh series and saturation method.

Mass vanadium fate was determined by calibration chart. For a graph using standard state firms like IBM (England). To compare two standard sample taken for HNCS 11,503 and HNCS 11501 (China).

CONCLUSIONS

1. It is established that the formation of a stable complex with PAN vanadium occurs at $\text{pH} = 2.5$.
2. The method izomolyarnyh series found that vanadium complex structure of PAN at $\text{pH} = 2.5$ corresponds to the composition M: R = 1: 1.
3. The method of determination of vanadium in steels and selected the optimal conditions of vanadium in the range of 0,2-3,0 wt.%.
4. The optimum condition for the quantitative determination of vanadium is a method of calibration curve using standard samples are similar in composition to the analyzed samples: IBM (England), HNCS HNCS 11501 and 11 503 (China).

Keywords: steel, vanadium, titrimetric method, atomic obsorbtisynty method photolorimetric method pH meter, organic reagents.

ВСТУП

Ванадій – у вільному вигляді сріблясто-сірий метал, за зовнішнім виглядом схожий на сталь, це досить твердий, але разом з тим пластичний метал. Температура плавлення 1920°C , температура кипіння близько 3400°C , щільність $6,11 \text{ г/см}^3$. Кристалічна решітка кубічна об'ємно центрована, параметр $a = 0,3024 \text{ нм}$. Хімічно ванадій досить інертний. Він стійкий до дії морської води, розведених розчинів хлоридної, нітратної та сульфатної кислот, лугів.

Головна сфера застосування ванадію виробництво марочних чавунів і сталей. Додаток ванадію забезпечує високі характеристики сплавів для космічної промисловості. Він широко використовується також як каталізатор при отриманні сульфатної кислоти [1]. Через відсутність діючих підприємств з переробки рудної сировини, яка містить ванадій, Україна змушена імпортувати сполуки цього металу. Водночас, щорічно в нафтохімічній промисловості утворюється до 15000 тон відпрацьованих каталізаторів, що використовуються в процесах гідроочищення нафти [2]. Зазначені відпрацьовані каталізатори містять цінні компоненти в кількостях, достатніх для їх ефективного вилучення: вміст V_2O_5 досягає 7%. Через багатоконпонентний склад такої сировини в Україні відсутні технології переробки відпрацьованих каталізаторів нафтохімічної промисловості, котрі враховують усі екологічні та економічні вимоги до сучасних технологій [3].

Ванадій може бути присутній в сталях у вигляді стійких простих не стехіометричних карбідів у та в стані твердого розчину у ферумі.

Ванадій вводять в сталь в якості самостійного компонента для надання спеціальних механічних властивостей, а також в якості розкисника [8].

Склад ванадію в сталях зазвичай обмежений 0,2-1,0 мас. %. Проте в деяких марках сталі склад ванадію досягає від 0,5 до 3 мас. % [9].

Значні кількості ванадію порядку декількох сотих часток відсотка, можна виявити в більшості сталях, куди вона потрапляє з шихтових матеріалів [10].

Вплив ванадію на механічні властивості термічно поліпшеної сталі зміна механічних властивостей нелегованої сталі в зіставленні з властивостями сталі з вмістом ванадію 0,21 і 0,37 мас. % при різних температурах. Присутність ванадію в кількості близько 0,2 мас. % і більше викликає значне підвищення стійкості сталі. При температурах вище 400°C різко сповільнюється падіння межі міцності і твердості, а при спаді близько 550°C виявляється

ефект вторинної твердості. По ефективності дії на стійкість сталі проти спаду ванадій перевершує всі інші елементи [11].

Підвищення міцності при введенні в сталь ванадію одночасно супроводжується зменшенням пластичності і в'язкості.

Ванадієві сплави виявляють також підвищену короточасну і тривалу міцність в нагрітому стані

Цей ефект, обумовлений в основному процесами карбідоутворення, спостерігається тільки в термічно-покращеному стані і за умови, якщо робоча температура сталі не перевершує 600-650 °С [12].

Як мікроелемент ванадій входить до складу мікроорганізмів, тварин і рослин. Саме ці властивості обумовлюють необхідність аналітичного моніторингу сполук ванадію в об'єктах навколишнього середовища. Маючи здатність до розсіювання, він часто зустрічається в якості домішок в різних мінералах і гірських породах [13]. Міграція, розсіювання і концентрування ванадію в біосфері здійснюється шляхом вилучення його живими організмами з води, рослинної і тваринної їжі, з різних порід і шляхом вивільнення його в результаті розкладання і мінералізації органічної речовини. Вміст ванадію в ґрунті 10^{-2} %, в рослинах – 10^{-4} %, в організмах ссавців і людини – 10^{-5} %. Ванадій в живих організмах відіграє роль каталізатора окиснювально-відновних процесів. Але багато його сполук – токсичні. Найбільшу токсичність мають сполуки ванадію зі ступенем окислення +5. Хімія природних сполук ванадію надзвичайно різноманітна і часом настільки складна, що до цих пір немає єдиної думки про природу і умови існування окремих форм цього елемента [14].

Таким чином, ми маємо великий спектр підконтрольних об'єктів, ванадій має в них різну форму знаходження, вміст, що визначає їх властивості. В зв'язку з наведеними питаннями розробка уніфікованих доцільних методів визначення ванадію задача актуальна.

Мета: Вивчити рівновагу комплексоутворення ванадію (V) з ПАН у водно-міцелярному середовищі залежно від кислотності середовища, розробити методику спектрофотометричного визначення з використанням залежності виходу комплексів від рН і випробувати її стосовно сплавів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості об'єктів дослідження були використані такі зразки сталей: 13X14H3B2ФР та ХН55ВМТКЮ. Досліди по розробці методики по визначенню кількісного вмісту ванадію в сталях проведені в хіміко-аналітичних лабораторіях підприємства ОАО «Мотор Січ» і ДНДП інститут титану.

В даній роботі для розробки методики фотокolorиметричного методу визначення ванадію користувалися фотоелектричним спектрофотометром типу КФК-3.

Загальний вигляд спектрофотометра КФК-3 зображено на рис. 1.

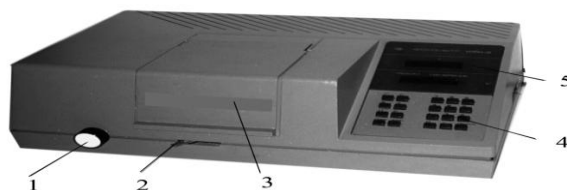


Рисунок 1 – Фотоелектроколориметр -3-01 «ЗОМ»

Оптична схема фотоелектроколориметру зображена на рис. 2.

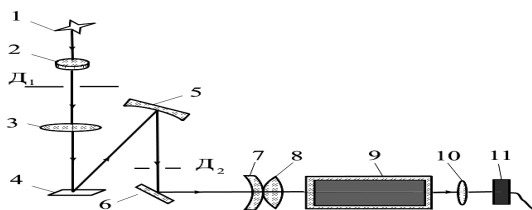


Рисунок 2 – Оптична схема фотоелектроколориметру: 1 – ручка встановлення довжин хвиль; 2 – важіль переміщення кювет; 3 – кришка кюветного відсіку; 4 – клавіатура мікропроцесорної системи; 5 – світлове табло

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для фотометричного визначення ванадію використовують ряд органічних реагентів: 4-(2-піридилазо)-резорцин (ПАР), 1-(2-піридилазо)-2-нафтол (ПАН) [32]. Проте порівнюючи характеристики органічних реагентів та співставляючи молярні коефіцієнти поглинання, кращим реагентом для визначення ванадію являється ПАН, оскільки максимуми поглинання комплексів мають помітний зсув один від одного та достатньо далеко стоять від максимуму реагенту, що дає можливість використання методик багатокомпонентного аналізу. Структурна формула 1-(2-піридилазо)-2-нафтол представлена на рис. 3

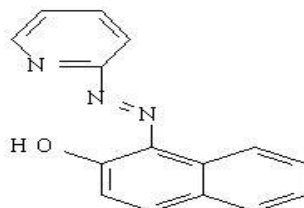


Рисунок 3 – Структурна формула ПАН

Проаналізувавши літературні джерела, за допомогою хімічної програми Chem Office 8.0, була розроблена формула комплексу ванадію з 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом.

Комплексна сполука ванадію з 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом має вигляд представлений на рис. 4.

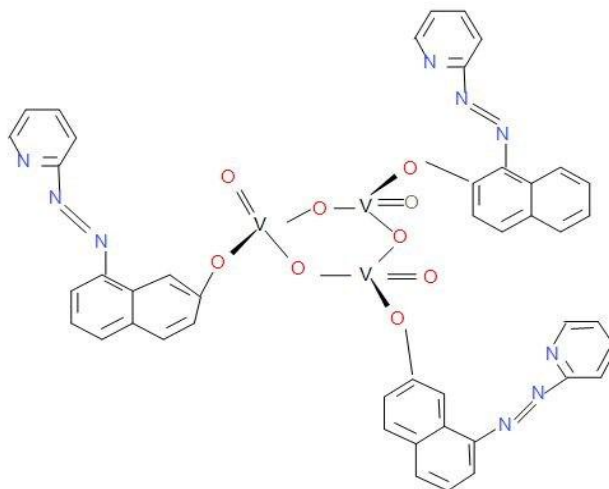


Рисунок 4 – Структурна формула комплексної сполуки ванадію з ПАН

Іони V (V) утворюють з 1-(2-піридилазо) - 2 - нафтолом – комплексне з'єднання червоно-зеленого кольору, розчинна у кислому водно-міцелярному середовищі з максимумом поглинання при довжині хвилі 560 нм.

На рис.3 наведена експериментальна залежність світлопоглинання при λ_{\max} в залежності від масової частки етоксилаурилсульфату натрію у воді. Світлопоглинання залишається практично постійним в діапазоні $w = 1.5-3.0\%$. Надалі дослідження проводили при $w = 3\%$ поверхнево активної речовини (рис. 5).

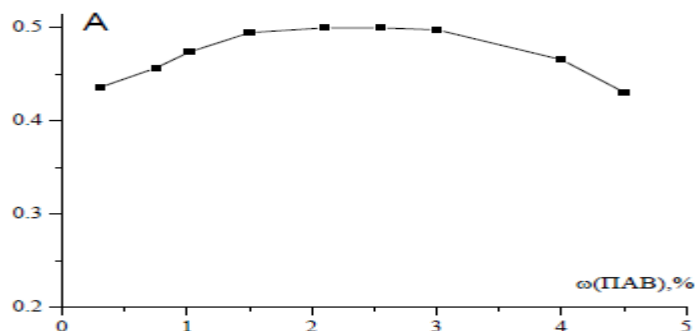


Рисунок 6. – Залежність світло поглинання від масової частки ПАВ

Вивчено залежності розчинності комплексу від рН при постійних значеннях концентрацій реагенту і ванадію (V) і залежність виходу комплексів від рН. Мінімальна розчинність комплексів ванадію з ПАН спостерігається при рН = 3,5. Максимальний вихід комплексної сполуки V (V) з 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом спостерігається при рН = 2,4-2,5 (рис. 7).

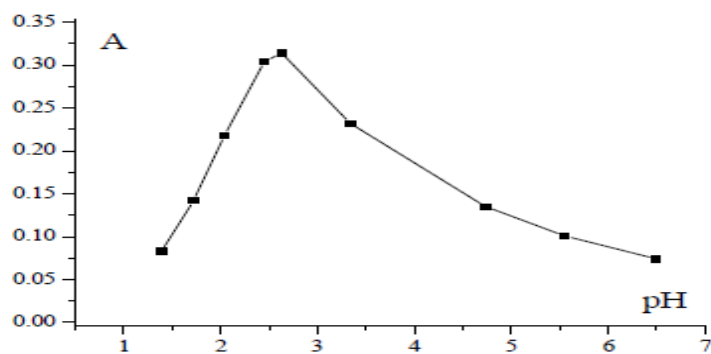


Рисунок 7 – Залежність вихідного комплексу від рН

Як видно з рис. 4, залежність виходу комплексів ванадію (V) від рН спостерігається в діапазоні рН від 6,5 до 1,5. Тенденція зменшення значень світлопоглинання комплексів в кислому середовищі вказує на практично повне їх руйнування при рН < 1. При визначенні ванадію можна проводити вимірювання в максимумі виходу комплексу рН = 2,5. Тому можна зробити висновок, що утворення комплексу ванадію з ПАН при рН = 2,5. Наступним кроком було визначення складу комплексу методом ізомольярних серій (рис. 8).

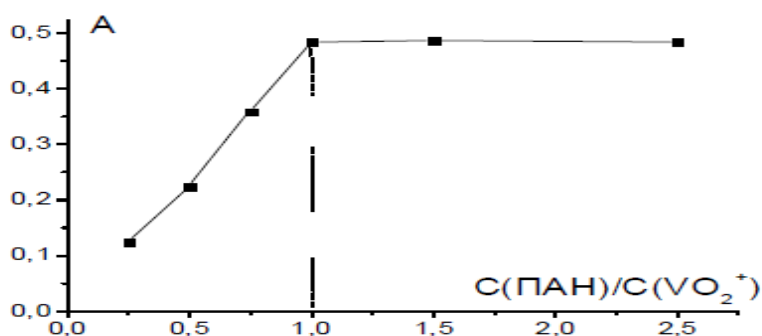


Рисунок 8 – Склад комплексу V (V) : 1-(2-піридилазо)-2-нафтол (1:1)

Склад комплексу V (V) : 1-(2-піридилазо)-2-нафтол (1:1) визначили за допомогою методу ізомольярних серій і методу насичення.

Масову долю ванадію визначали по калібрувальному графіку. Для побудови графіка використовували два стандартних зразка к HNCS 11503 та HNCS 11501 (Китай).

Експериментально отримали графік (рис. 9).

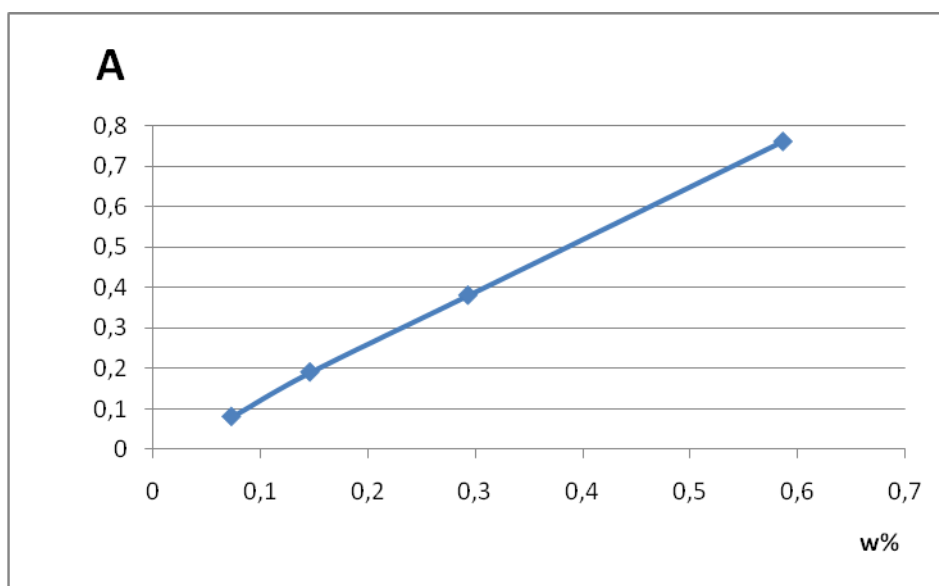


Рисунок 9 – Графік залежності оптичної щільності від концентрації ванадію

Результати аналізів наведені у табл. 7

Таблиця 1 – Кількісне визначення ванадію в зразках сталі 13X14H3B2ФР та 2H55BMTKЮ з органічним реагентом ПАН (n=5, P= 0,95)

Зразок сталі	Вміст, %, мас.	Середнє значення \bar{x} $x \pm \delta$ %, мас.
1	2	3
13X14H3B2ФР	0,317	0,305+0,011 —
	0,295	
	0,307	
	0,300	
	0,310	
2H55BMTKЮ	2,12	2,20+0,112 —
	2,26	
	2,15	
	2,20	
	2,27	

Контроль якості визначення проводили за допомогою стандартизованого титриметричного методу та фотометричного методу за атестованою методикою на підприємстві «Мотор Січ»

Результати наведені в табл. 2

Таблиця 2 – Контроль правильності визначення ванадію (n=5, P=0,95)

Зразок сталі	Титриметричний метод мас. %	Фотометричний метод	
		ПАР мас. %	ПАН мас. %
1	2	3	4
13X14H3B2ФР	0,307±0,018	0,302±0,010	0,305±0,011
2H55BMTKЮ	2,21±0,13	2,18±0,110	2,20±0,112

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що утворення стійкого комплексу ванадію з ПАН відбувається при рН=2,5.
2. Методом ізомольних серій встановлено, що структура комплексу ванадію з ПАН при рН=2,5 відповідає складу М:R=1:1.
3. За допомогою хімічної програми Chem Office 8.0, була розроблена формула комплексу ванадію з 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом.
4. Розроблена методика визначення ванадію в сталях і обрані оптимальні умови проведення ванадію в діапазоні 0,2-3,0 мас. %.
5. Оптимальною умовою кількісного визначення ванадію являється метод градувального графіку за допомогою стандартних зразків близьких за складом до аналізованої проби: HNCS 11501 та HNCS 11503 (Китай).

ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов В.М. Гетероциклические азотсодержащие азосоединения / Иванов В.М. – М.: Наука, 2007. – 230 с.
2. Anderson, G. Nickless. Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry. Part I. The ligand properties of 2-(2-pyridylazo)-1-naphthol and its sulphonated analogues / Anderson, G. Nickless//Analyst–2007.–Vol.93.– P. 13-19.
3. Бусев В.М. Применение пиридиновых азосоединений в аналитической химии / В.М. Бусев // Журнал аналитической химии – 2005. – С. 1238-1250.
4. Wada G. Nakagawa. Sulphonated 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol and 2-(2-pyridylazo)-1-naphthol as spectrophotometric reagents / G. Wada Nakagawa // Analytica Chimica Acta – 2004. –, P. 291-300.
5. Qureshi M.N. Cheema. Extraction studies of the group IB, IIB and IIIA–VA elements using 1-(2-pyridylazo)-2-naphtholaschelating reagent / M.N.Qureshi // Journal of Radioanalytical Chemistry – 1974. – Vol. 22, P. 75-82.
6. Betteridge D. Pyridylazonaphthols (PANs) and pyridylazophenols (PAPs) as analytical reagents /D.Betteridge//Analyst–2004.–Vol.98.– P. 390-411.
7. Перьков А.М. Одновременное экстракционно-фотометрическое определение железа, никеля, меди, цинка и кадмия с ПАН и дитизоном в сточных водах / А.М. Перьков, А.В. Дрозд, Г.В. Арцебашев // Журнал аналитической химии – 2009. – С. 1465-1474.
8. . Anderson, G. Nickless. Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry. Part I. The ligand properties of 2-(2-pyridylazo)-1-naphthol and its sulphonated analogues / Anderson, G. Nickless // Analyst – 2007. – Vol. 93. – P. 13-19.
9. Синяева Н.П. Определение вольфрама, молибдена и ванадия в сталях и сплавах на никелевой основе / Н.П.Синяева, Л.П. Некрасова, А.В. Богуслаев // Вестник двигателестроения. – 2007. – №2. – С. 56-58.

10. Drummond C.J./ Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry / C.J.Drummond // Chem. Soc., Faraday Trans 1– 1989. V. 85. №3. P. 551-560.
11. Rehak B. Korbl J. Extraction studies of the group IB / Rehak B. Korbl J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1960. V. 25. – P. 797.
12. Janousek J.J. Extraction studies of the group IB / Janousek J.J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1962.– V. 27. – P. 2972.
13. Булатов М.И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / Булатов М.И. – Л.: Химия, 1986. 317 с.
14. Rehak B. Korbl J. Extraction studies of the group IB / Rehak B. Korbl J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1960. V. 25. – P. 797.

REFERENCES

1. V.M. Ivanov Nitrogen-containing heterocyclic azo/ V.M Ivanov -M .: Nauka,2007-230p.
2. Anderson, Nickless. Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry. Part I. The ligand properties of 2 (2 pyridylazo) 1 naphthol and its sulphonated analogues / Anderson, G. Nickless // Analyst-2007.-Vol.93.- R. 13-19.
3. Busev VM The use of pyridine azo compounds in analytical chemistry / VM Busev // Journal of Analytical Chemistry - 2005. - P. 1238-1250.
4. Wada G. Nakagawa. Sulphonated 1 (2 pyridylazo) 2 naphthol and 2 (2 pyridylazo) 1 naphthol as spectrophotometric reagents / G. Wada Nakagawa // Analytica Chimica Acts - 2004. -, P. 291-300.
5. Qureshi M.N. Cheema. Extraction studies of the group IB, IIB and IIIA-VA elements using 1 (2 pyridylazo) 2 naphthol as chelating reagent / MNQureshi // Journal of Radioanalytical Chemistry - 1974. - Vol. 22, P. 75 82.
6. Betteridge D. Pyridylazonaphthols (PANs) and pyridylazophenols (PAPs) as analytical reagents /D.Betteridge//Analyst-2004.-Vol.98.- P. 390-411.
7. Perkov AM Simultaneous extraction-photometric determination of iron, nickel, copper, zinc and cadmium with PAN and dithizone in wastewater / AM Perkov, AV Drozd, GV Artsebashev // Journal of Analytical Chemistry - 2009. - S. 1465-1474.
8. Anderson, G. Nickless. Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry. Part I. The ligand properties of 2-(2-pyridylazo)-1-naphthol and its sulphonated analogues / Anderson, G. Nickless // Analyst – 2007. – Vol. 93. – P. 13-19.
9. Sinyaeva NP Determination of tungsten, molybdenum and vanadium in steels and alloys based on nickel / N.P.Sinyaeva, LP Nekrasov,AV Boguslayev // Bulletin engine. - 2007. - №2. - S. 56-58.
10. Drummond C.J./ Heterocyclic azo dyestuffs in analytical chemistry / C.J.Drummond // Chem. Soc., Faraday Trans 1– 1989. V. 85. №3. P. 551-560.
11. Rehak B. Korbl J. Extraction studies of the group IB / Rehak B. Korbl J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1960. V. 25. – P. 797.
12. Janousek J.J. Extraction studies of the group IB / Janousek J.J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1962.– V. 27. – P. 2972.
13. Bulatov, MI Practical guidance on methods of analysis photometric–skim / Bulatov MI - L .:

Chemistry, 1986. 317 p.

14. Rehak V. Korbl J. Extraction studies of the group IB / Rehak V. Korbl J. // Coll. Czech. Chem. Comms. – 1960. V. 25. – P. 797.

Рецензенти: Пономаренко Н.І. к.фарм.н., доцент кафедри хімії та екології Запорізького національного технічного університету;

Луганська О.В. к.х.н., доцент кафедри хімії ЗНУ.