«Металознавство та термічна обробка зварних з′єднань»

Лекція 1

«РОЛЬ АТОМНОЇ БУДОВИ МЕТАЛІВ У ФОРМУВАННІ ЗВАРНОГО З′ЄДНАННЯ»

Лалазарова Н.О.

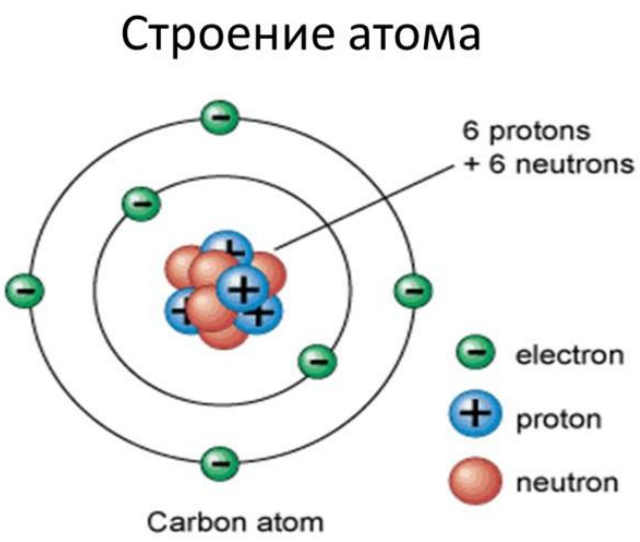
Зміст

- 1.1. Роль атомної будови металу у формуванні зварного з'єднання.
- Контрольні питання
- Завдання для самостійної роботи
- Список літератури

1.1. РОЛЬ АТОМНОЇ БУДОВИ МЕТАЛУ В УТВОРЕННІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Отримання якісного з'єднання як зварюванням плавленням, так і зварюванням тиском, залежить від атомно-кристалічної будови металів, які підлягають зварюванню. При зварюванні тиском якісне нероз'ємне з'єднання утворюється при зближенні поверхонь, що зварюються, на відстань, що дозволяє реалізуватися силам

міжатомної взаємодії і встановити електронний обмін у порушених (активованих) атомах на зварювальних поверхнях.



При зварюванні плавленням для спільної кристалізації металу шва і металу оплавленої зварюваної поверхні має значення

характер взаємодій атомно-кристалічних решіток обох металів в твердорідкому і твердому станах, природа зв'язків і інші чинники, пов'язані з атомно-кристалічною будовою цих металів.

РОЛЬ АТОМНОЇ БУДІВЛІ МЕТАЛУ В УТВОРЕННІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Для зварювання найбільше значення з показників, пов'язаних з особливостями атомної будови металів, мають наступні:

-міцність зв'язку найбільш легко відокремлюваних електронів зовнішньої оболонки з ядром або іоном;

-тип і міцність зв'язку між атомами;

-показник вільної енергії поверхні.

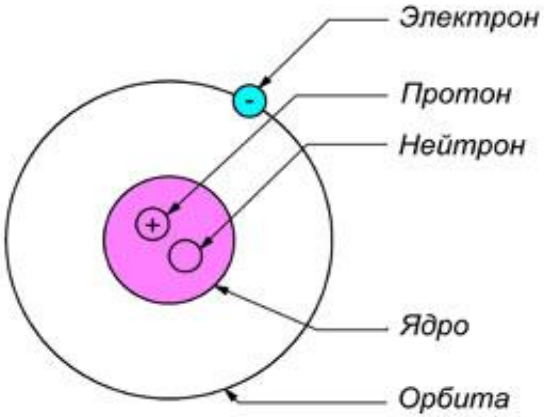
В атомі електрони зовнішньої оболонки найменш міцно пов'язані з ядром, що обумовлено як найбільшим віддаленням цих електронів від ядра, так і екрануючим впливом силових полів електронів проміжних оболонок. Міцність зв'язку електронів зовнішньої оболонки з ядром тим більше, чим вище ступінь заповнення зовнішнього електронного рівня електронами.

При повністю укомплектованих зовнішніх рівнях зв'язок цих електронів з атомами настільки великий, що вони практично не можуть відокремитися і взяти участь в електронному обміні, необхідному для утворення зварних або хімічних сполук.

РОЛЬ АТОМНОЇ БУДІВЛІ МЕТАЛУ В УТВОРЕННІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Тому елементи з повністю добудованою зовнішньою електронною оболонкою є інертними. Для утворення зварного з'єднання при зварюванні тиском необхідно, щоб між атомами зварюваних поверхонь, що зближують на певну відстань, встановився електронний обмін.

Тільки в цьому випадку може утворитися надійне нероз'ємне з'єднання.



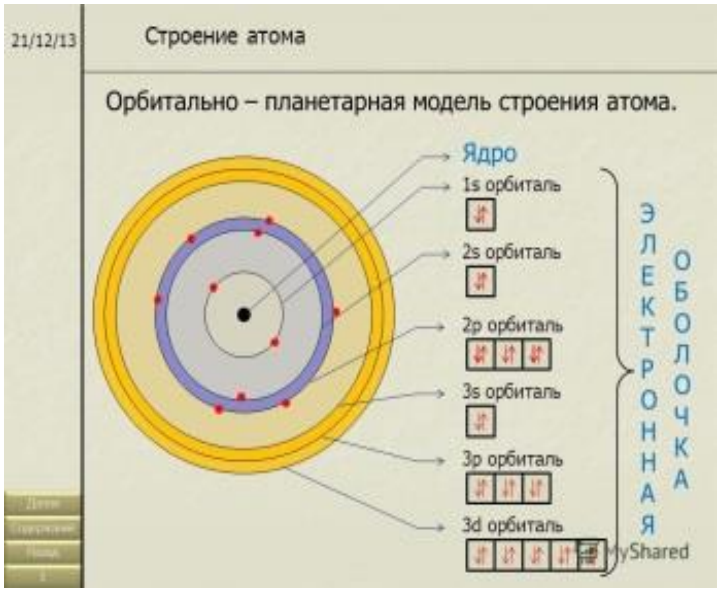
Для встановлення між зварюваними поверхнями електронного обміну необхідно,

щоб найменш міцно зв'язані з ядром електрони зовнішніх електронних оболонок були здатні відокремитися від свого атома і перейти на зовнішню електронну оболонку атома іншої зварюваної поверхні або ж атоми обох поверхонь, що зварюються, були здатні «володіти» одночасно якимись електронами зовнішніх оболонок обох атомів. Таким чином відбудеться об'єднання атомів зварюваних металів і утворюється міцний зв'язок.

РОЛЬ АТОМНОЇ БУДІВЛІ МЕТАЛУ В УТВОРЕННІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Про здатність металів утворювати нерознімне зварне з'єднання в результаті об'єднання атомів зближуваних поверхонь можна, певною мірою, судити по закріпленню електрона на зовнішньому електронному рівні атома.

Чим міцніше це закріплення і більше енергія зв'язку, тим важче електрону відірватися від свого атома і взяти участь



в електронному обміні з атомами іншої зварюваної поверхні.

Виходячи з цих положень, можна оцінити *зварюваність металів зварюванням тиском за особливостями будови атома і величиною енергії (роботи), яку треба затратити на відрив електрона від атома.*

АТОМНИЙ РАДІУС

До особливостей будови атома можна віднести атомний радіус - відстань від центру ядра до зовнішньої електронної оболонки. Чим більше ця відстань, тим менше енергія зв'язку зовнішнього електрона з ядром, і відповідно, тим вище здатність електрона до відриву від атома і до зварювання тиском. Нижче наведені атомні радіуси деяких елементів.

Дані елементи можна об'єднати в 13 груп, зварюваність, що визначається лише відстанню електрона до центру ядра, повинна спадати від 1-ї до 13-ї групи:

Элемент	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co
Атомный радиус, нм	1,60	1,43	1,47	1,36	1,30	1,27	1,26	1,25
Элемент	Ni	Cu	Zn	Zr	Nb	Mo	Ag	Pt
Атомный радиус, нм	1,25	1,28	1,37	1,60	1,47	1,39	1,44	1,39
Элемент	Au							
Атомный радиус, нм	1,46							

Данные элементы можно объединить в 13 групп, свариваемость, определяемая только расстоянием электрона до центра ядра, должна убывать от 1-й до 13-й группы:

Группа	1	2	3	4	5	6	7
Элементы	Mg, Zr	Ti, Nb	Au	Ag	Al	Mo, Pt	Zn
Группа	8	9	10	11	12	13	
Элементы	V	Cr	Cu	Mn	Fe	Co, Ni	

Зварюваність зменшується →

[2]

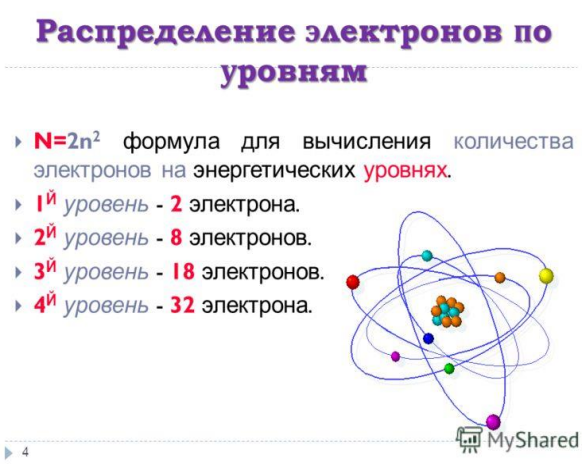
Атомний радіус зменшується

Група	1	2	3	4	5	6	7
Елементи	Mg, Zr	Ti, Nb	Au	Ag	Al	Mo, Pt	Zn
Група	8	9	10	11	12	13	
Елементи	V	Cr	Cu	Mn	Fe	Co, Ni	

ЕКРАНУВАЛЬНИЙ ВПЛИВ СИЛОВИХ ПОЛІВ ПРОМІЖНИХ ОБОЛОНОК АТОМА

Про екранувальний вплив силових полів проміжних оболонок можна судити за їх електронною будовою, що визначається енергетичним станом атомів проміжних електронних рівнів. Енергія електронних груп на різних електронних рівнях визначається головним квантовим числом.

(Енергетичний рівень електронної оболонки в подальшому – або група), що змінюються від 1 до 6.



Зі збільшенням цього числа вільна енергія зростає. Підгрупи (енергетичні підрівні) позначають буквами s, p, d, f.

Від підгрупи до підгрупи вільна енергія зростає. З огляду на число електронів в кожній підгрупі, за даними табл. можна судити про екранувальний вплив проміжних електронних рівнів на міцність зв'язку зовнішніх електронів з ядром.

АТОМНИЙ РАДІУС

Загальна кількість електронів (порядковий номер елемента в періодичній системі) дорівнюється позитивному заряду ядра. Якщо порівнювати атомні радіуси, число оболонок і електронів різних елементів, то можна побачити, що при радіусах, які дуже не відрізняються, заповнення об′єму атома оболонками і електронами дуже сильно

відрізняється і зростає зі збільшенням атомної маси елемента. Тому орієнтовно атомну масу елемента можна вважати показником щільності екрануючого поля внутрішніх оболонок атома [2].

Условные показатели удельного заряда у атомов некоторых элементов

Элемент	Число электронов		Атомная масса	a_1	a_2	$a_1 - a_2$
	общее	на внутренних уровнях				
Mg	12	10	24,31	0,49	0,41	0,08
Al	13	10	26,98	0,48	0,37	0,11
Ti	22	20	47,90	0,46	0,42	0,04
V	23	21	50,94	0,45	0,41	0,04
Cr	24	23	51,99	0,46	0,44	0,02
Mn	25	23	54,94	0,45	0,42	0,03
Fe	26	24	55,85	0,46	0,43	0,03
Co	27	25	58,93	0,46	0,42	0,04
Ni	28	26	58,71	0,48	0,44	0,04
Cu	29	28	63,54	0,46	0,44	0,02
Zn	30	28	65,37	0,46	0,43	0,03
Zr	40	38	91,22	0,42	0,44	0,02
Nb	41	40	92,90	0,44	0,43	0,01
Mo	42	41	95,94	0,44	0,43	0,01
Ag	47	46	107,87	0,44	0,43	0,01
Sn	50	46	118,69	0,42	0,39	0,03
W	74	72	183,85	0,40	0,39	0,01
Pt	78	77	195,09	0,40	0,39	0,01
Au	79	78	196,97	0,40	0,40	0,00
Pb	82	78	207,19	0,38	0,40	0,02

ЕКРАНУВАЛЬНИЙ ВПЛИВ СИЛОВИХ ПОЛІВ ПРОМІЖНИХ ОБОЛОНОК АТОМА

Щоб врахувати вплив щільності екрануючого поля, можна ввести умовний показник - загальний питомий заряд a_1 рівний результату від ділення загального заряду на атомну масу загального числа електронів, і екрануючий питомий заряд a_2, рівний результату від ділення заряду екрануючих електронів на атомну масу.

Якщо значення a_1 - a_2 близько до нуля, то електрони зовнішнього рівня міцно пов'язані з атомом.

Чим більше ця різниця і чим слабкіший зв'язок зовнішніх електронів з атомом, тим легше вони відокремлюються і, отже, краще зварюються елементи.

Наведені відомості можуть бути корисні при прогнозуванні поведінки різних металів при зварюванні тиском.

ПОТЕНЦІАЛ ІОНІЗАЦІЇ І ЕНЕРГІЯ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ

Другий показник, від якого залежить зварюваність при зварюванні тиском, - величина енергії, яку треба витратити на відрив електрона від атома. Як зазначалося, для встановлення металевого зв'язку в зварному з'єднанні між зварюваними поверхнями повинен встановитися електронний обмін.

Для різних металів здатність до електронного обміну різна, вона залежить від енергії зв'язку зовнішніх електронів з атомами.

Фізичними показниками енергії зв'язку можуть служити потенціал іонізації і енергія виходу електронів.

Потенціал іонізації є силовим показником зв'язку того чи іншого електрона зовнішньої оболонки з іншою частиною атома. Він визначається зовнішньою напругою поля, яке потрібне, щоб відірвати електрон від атома.

ЕНЕРГІЯ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНА

Електрони (навіть зовнішнього рівня) по-різному пов'язані з ядром, тому може бути кілька потенціалів іонізації - перший для відриву першого електрона, другий - для відриву другого електрона і т.д. Найбільш легко відділяється перший електрон, його відділення досить для початку електронного обміну між зварюваними поверхнями. [2]

Элемент	Mg	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co
Потенциал ионизации, эВ	7,64	5,98	6,82	6,76	7,43	7,87	7,86
Энергия выхода электрона, эВ	3,60	4,20	4,10	4,60	—	4,70	4,40
Элемент	Ni	Cu	Zn	Ge	Zr	Nb	Mo
Потенциал ионизации, эВ	7,63	7,72	9,39	7,88	6,84	6,88	7,10
Энергия выхода электрона, эВ	4,50	4,50	4,20	—	13,90	—	4,30
Элемент	Ag	Sn	W	Pt	Au	Pb	
Потенциал ионизации, эВ	7,57	7,34	7,98	9,00	9,22	7,42	
Энергия выхода электрона, эВ	4,30	4,30	4,50	4,90	—	4,00	

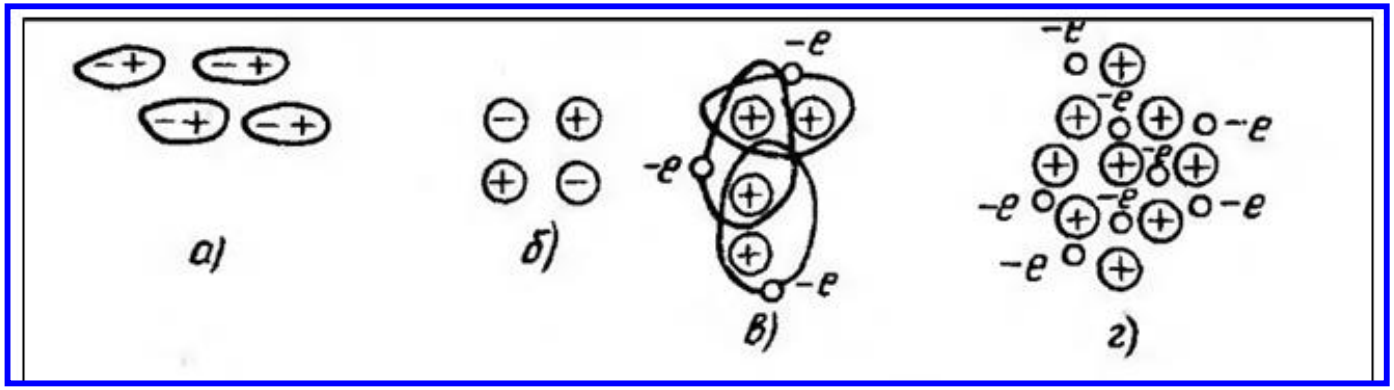
Таким чином, чим нижче іонізаційний потенціал, тим легше встановлюється електронний обмін і тим краще зварюються метали.

Іншим фізичним показником зв'язку електрона з атомом є енергія виходу електрона, що дорівнює різниці енергії внутрішнього і зовнішнього електронів. Значення перших потенціалів іонізації і енергії виходу для електронів деяких елементів наведені вище.

ТИПИ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ АТОМАМИ

Використовуючи наведені дані, можна судити про здатність металів до утворення зварного з'єднання при належному контакті в результаті встановлення електронного обміну і створення металевої зв'язку.

Тип і міцність зв'язку між атомами. Між атомами може бути чотири типи зв'язків:



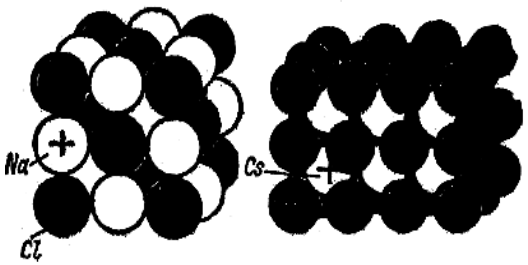
Типи зв′язків між атомами: а полярна, б – іонна, б – ковалентна, г - металева

полярна (молекулярна, Ван-дер-Ваальса), іонна (іонна), ковалентний (гомеополярной) і металева.

ТИПИ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ АТОМАМИ

При полярному зв'язку не відбувається електронного обміну між атомами і не потрібний відрив електрона від атома. У цьому типі зв'язку відбувається поляризація зарядів - зміщення електронів в одному напрямку, що створює передумови для електромагнітної взаємодії між двома поляризованими атомами.

Такий зв'язок енергетично міцний (показник міцності 0,1 еВ). При іонному зв'язку відбувається електронний обмін - електрон переходить



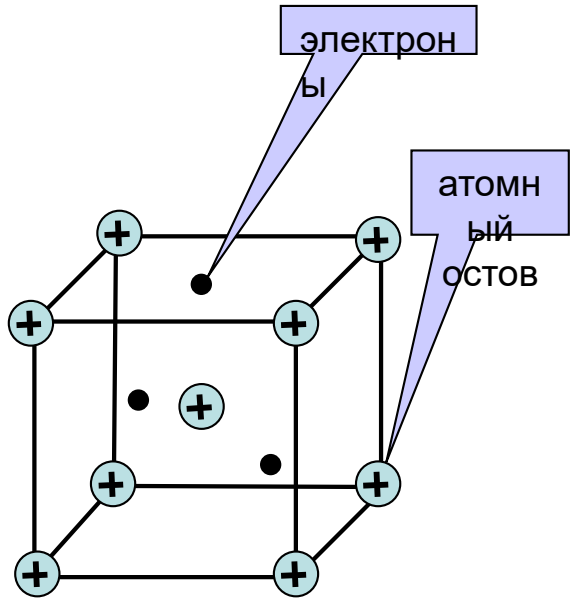
з одного атома на інший, при цьому перший стає електропозитивним, а другий електронегативним.

Взаємодія по різному заряджених іонів визначає зв'язок в кристалах (8,5 еВ). При ковалентному зв'язку також має місце перехід електронів з зовнішніх оболонок атомів. Електрони з оболонок сусідніх атомів як би об'єднуються на новій оболонці, що належить обом атомам. Таке попарне об'єднання створює ланцюжок зв'язку (показник зв'язку 6,0 еВ).

ТИПИ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ АТОМАМИ

При встановленні металевого зв'язку також відбувається перехід електронів з зовнішніх оболонок. Відірвані електрони належать не двом сусіднім атомам, а всім атомам кристала (металу) (показник такого зв'язку 2,5 еВ).

Металевий тип зв'язку характерний для сполук більшості металів, ковалентний зв'язок - для з'єднань Ci, Ag, Au,

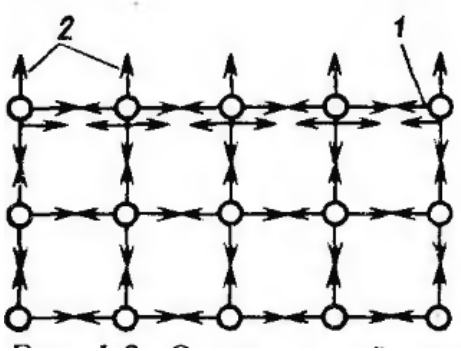


Zn, Cd, A1 з Li, Cr, Mg, Sr. Іонний зв'язок має місце в з'єднаннях Si, Sn, Pb, Ge, Se, Ti, O, S, H, Cl.

Наведені відомості про типи зв'язку і показники міцності зв'язку можуть бути корисні не тільки для оцінки можливості з'єднання металів зварюванням тиском, а і для розгляду ролі поверхневих неметалевих плівок на зварюваних поверхнях.

РОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

Про міцність утворених зв'язків при з'єднанні різних однойменних металів можна судити за властивостями, що говорять про руйнування цих зв'язків. Такими властивостями є теплота сублімації, теплота плавлення, модуль пружності, характеристична температура, коефіцієнт теплового розширення[2]



Металл	Mg	Al	Ti	Fe	Co	Ni	Mo	Ag
Теплота сублимации, кДж / г·атом	149	324	468	416	422	431	657	284
Металл	Sn	W	Pt	Au	Pb			
Теплота сублимации, кДж / г·атом	301	837	565	364	196			

Схема зв′язків атомів, що знаходяться на поверхні та в середені кристала: 1 – поверхня, 2 – відсутній зв′язок

Стан атомів, що знаходяться на поверхні металу, істотно відрізняється від стану атомів, розташованих усередині кристалів.

РОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

Зв'язки поверхневих атомів неврівноважені, що призводить до утворення поверхневого шару атомів з посиленими зв'язками в площині поверхні, тобто до поверхневому натягу. Поверхневий натяг (поверхнева енергія) є фактором, що обумовлює протидію активації поверхні, наприклад виходу на поверхню дислокацій. [2]

Металл	Cu	Ag	Au	Sn	α-Fe	γ-Fe
Температура измерения, °С	850	750	850	213	1100	20
Поверхностная энергия, МДж/м²	1640	1310	1480	685	1950	1360

Поверхневий натяг ускладнює відрив електронів зовнішньої оболонки і встановлення електронного обміну, необхідного при зварюванні тиском,

тому значення поверхневої енергії металів може служити фактором, що характеризує протидію з'єднанню при зварюванні тиском.

РОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

Є розрахункові методи визначення поверхневого натягу в металах. Наприклад поверхневий натяг розраховують за формулою

$$\gamma = 849 \cdot 10^{11} \psi z R^2,$$

где ψ — робота виходу електронів;

z — число вільних електронів на атом;

R — атомний радіус.

Отримані за цією формулою значення поверхневого натягу наведені нижче:

Металл или сплав . .	30ХГСА	38ХМЮА	Хром	БрАЖМц10-3-1,5
γ, МДж/м²	1430	1420	1410	1580
Металл или сплав . .	БрБ2	БрОФ7-0,2	Медь М2	Никель
γ, МДж/м²	1390	1630	1420	1410
Металл или сплав . .	Цинк	Олово	Алюминий	Никель
γ, МДж/м²	1000	815	893	1480

[2]

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які з показників, пов'язаних з особливостями атомної будови металів, мають важливу роль для утворення якісного зварного з′єднання?

2. Яку роль грає атомний радіус?

3. Яку роль грає потенціал іонізації?

4. Яку роль грає робота виходу електрона?

5. Які існують типи зв′язків між атомами ?

6. Яку міцність мають метали з різним типом зв′язків між атомами ?

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитись з властивостями металів, які мають різні типи атомного зв′язку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технология конструкионных материалов и материаловедение: учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенок, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова. – Харьков: ХНАДУ, 2014. – 528 с.

2. Лившиц Л.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л.С. Лившиц, А.Н. Хакимов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. —336 с.

3. Грабин В.Ф. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей / В.Ф. Грабин, А.В. Денисенко. – К.: Наукова думка, 1978. – 272 с.

4. Єфіменко М.Г. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань / М.Г. Єфіменко, Н.О. Радзивилова. – Харків: - 2003. - 488 с.

Кафедра технології металів та матеріалознавства

Лалазарова Наталія Олексіївна

м. Харків, вул. Петровського, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ і М
Тел. (8-057) 707-37-92