**ЛЕКЦІЯ «КЛАСИФІКАЦІЯ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ»**

***Чавуни*.**Чавун є найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення фасонних виливків. Чавунні виливки за масою становлять біля 75% від загальної кількості виливків. Таке широке розповсюдження чавун отримав завдяки хорошим технологічним властивостям і відносній дешевизні порівняно з іншими ливарними сплавами. Сфера використання чавуну постійно розширюється внаслідок безперервного підвищення його механічних і технологічних характеристик, а також розробки чавунів нових марок із спеціальними фізичними та механічними властивостями.

Ливарні чавуни поділяються на сірі, ковкі, високоміцні та чавуни з вермикулярним графітом в залежності від форми графітних включень.

**Сірий чавун** (**сірий чавун** – grey cast iron)– найбільш дешевий ливарний сплав. Має порівняно високі механічні властивості, відносно низьку температуру плавлення і дуже гарні ливарні властивості: високу рідкоплинність (**рідкоплинність** – yield, flow), низькі лінійну та об’ємну усадку (**усадка** – shrinkage; **лінійна усадка** – linear shrinkage; **об’ємна усадка** – volume shrinkage) (0,9...1,3%), завдяки чому із сірого чавуну можна отримувати якісні виливки без усадкових раковин (**усадкові раковини** – shrink hole, contraction cavity), тріщин, жолоблення та інших дефектів.

Сірий чавун – складний сплав, хімічний склад якого коливається в таких межах: 3,2...3,8% *С*; 1,0...3,5% *Si*; 0,5...0,8% *Mn*; 0,2...0,4% *Р*; до 0,12% *S*. Сірий чавун поділяється на марки: СЧ10; СЧ15; СЧ20; СЧ25; СЧ30; СЧ35; СЧ40; СЧ45 (С – сірий, Ч – чавун, цифри показують міцність чавуну в *кГ/мм2*). Твердість сірого чавуну коливається від *НВ129* до *НВ269* в залежності від марки.

Сірий чавун малочутливий до надрізів та інших концентраторів напружень, що пояснюється наявністю графітних включень, у вигляді пластинок, які, власне, вже є внутрішніми надрізами і додавання до них нових зовнішніх надрізів не викликає зниження міцності (**міцність** – strength). Сірий чавун має здатність розсіювати вібраційні коливання при змінних навантаженнях, тому станини металорізальних верстатів, деталі дизелів, компресорів, корпуси редукторів тощо виготовляють із сірого чавуну. Використовувати ж сірий чавун для деталей машин, що зазнають ударних навантажень, не можна, оскільки він досить крихкий і має низьку пластичність (**пластичність** – plasticity) (відносне видовження менше 0,5%).

Споживачами чавунного литва є такі галузі промисловості як автомобільна, тракторна, сільськогосподарська, верстатобудування та ін.

**Ковкий чавун** (**ковкий чавун** – malleable cast iron)– це суто ливарний матеріал, а назва свідчить тільки про його більшу пластичність порівняно із сірим чавуном. ковкий чавун поділяється на марки: КЧ30-6; КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12; КЧ45-6; КЧ50-4; КЧ56-4; КЧ60-3; КЧ63-2 (К – ковкий, Ч – чавун, перші дві цифри показують міцність у *кГ/мм2*, другі – відносне видовження в процентах). Хімічний склад ковкого чавуну знаходиться в межах: 2,4...2,8% *С*; 0,8...1,4% *Si*; 0,3...1,0% *Mn*; 0,08...0,1% *S*; до 0,2% *P*.

Ковкий чавун використовується головним чином для виготовлення дрібних тонкостінних виливків (товщина стінки не більше 40...50 мм) для сільськогосподарських машин, автомобілів, тракторів, запірної арматури та інших деталей масового виробництва. Завдяки пластівчастій формі графітних включень ковкий чавун має досить високі міцність і пластичність, займаючи проміжне положення між сірим чавуном і сталлю (**сталь** – steel). Однак, ковкий чавун має гірші ливарні властивості, ніж сірий, зокрема понижену рідкоплинність, більшу усадку, і як наслідок – підвищену схильність до утворення тріщин і усадкових раковин. Це викликає необхідність у піддатливій (**піддатливість** – pliability, compliance) ливарній формі та масивних прибутках в ливниковій системі.

**Високоміцний чавун** (**високоміцний чавун** – high-strength cast iron) з кулястою формою графітних включень має понижені ливарні властивості, зокрема гіршу ніж сірий чавун рідкоплинність, підвищену усадку і, як наслідок, підвищену схильність до утворення дефектів ливарного походження, наприклад, усадкових раковин. Крім того, у виливках з високоміцного чавуну часто спостерігається зональна ліквація включень сірчистого магнію *MgS2*, які утворюються в чавуні при модифікуванні його магнієм. Незважаючи на це, високоміцний чавун широко використовується як конструкційний матеріал в сучасному машинобудуванні. З нього відливають важконавантажені і товстостінні деталі відповідального призначення: колінчасті вали для легкових і вантажних автомобілів, суден, прокатні валки, шестерні та інші деталі, що працюють в умовах ударних навантажень. В сучасному машинобудуванні доведені можливість і економічна доцільність заміни стальних виливків і поковок виливками з високоміцного чавуну.

Високоміцний чавун поділяється на марки: ВЧ 350-22; ВЧ 400-15; ВЧ 420-12; ВЧ 450-10; ВЧ 450-5; ВЧ 500-7; ВЧ 600-7; ВЧ 700-2; ВЧ 800-2; ВЧ 900-2; ВЧ 1000-2 (В – високоміцний, Ч – чавун, перше число вказує межу міцності на розтяг в *МПа*, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках.

**Чавун з вермикулярним графітом** (**чавун з вермикулярним графітом** – cast iron with vermiculite graphite) має ливарні властивості на рівні сірого чавуну, а механічні – ковкого; і як конструкційний матеріал знаходить останнім часом широке використання в різних галузях машинобудування для виготовлення деталей, які зазнають значних статичних, динамічних і циклічних навантажень: головок блоків циліндрів, випускних колекторів, гальмівних дисків, колінчастих і розподільчих валів, зубчастих коліс тощо.

До 1999 р. не було стандартів на чавун із вермикулярним графітом, і навіть це не перешкоджало його успішному використанню в машинобудуванні. Зараз існує ДСТУ 3326-99 ”Чавун з вермикулярним графітом”. Так цей чавун поділяється на марки: ЧВГ 300-4; ЧВГ 400-4; ЧВГ 500-1 (Ч – чавун, В – вермикулярний, Г – графіт, перше число вказує межу міцності на розтяг в *МПа*, друге число через дефіс – значення межі відносного видовження у відсотках.

***Сталь***як ливарний матеріал застосовують для виготовлення виливків деталей, які поряд з високою міцністю повинні мати добрі пластичні властивості, бути надійними та довговічними в експлуатації. На долю стального литва приходиться біля 20% (за масою) від усіх виливків. Ливарні властивості сталей набагато гірші ніж чавунів. Так, рідкоплинність вуглецевої сталі в середньому в два рази нижча рідкоплинності сірих чавунів (рідкоплинність підвищується із збільшенням вмісту вуглецю в сталі). Висока лінійна усадка (1,5...2,5%) сталі робить її дуже схильною до утворення тріщин, а висока об’ємна усадка, що може досягати 5...6% – до утворення усадкових раковин і усадкової пористості (**усадкова пористість** – shrinkage). Для попередження утворення дефектів усадкового походження необхідні великі прибутки, об’єм яких може досягати 60% об’єму виливка, що призводить до значного збільшення витрат металу. Це знижує коефіцієнт використання металу та підвищує собівартість деталей.

Сталь вуглецева якісна конструкційна (ГОСТ 1050-88) за хімічним складом поділяється на марки від Сталь 05до Сталь 85, де число показує вміст вуглецю в сотих долях процента (відповідно 0,05%, 0,85%). Числа в марках сталі кратні 5 (10, 15, 20...85). Поділяється на киплячу (кп), напівспокійну (пс) і спокійну (без індексу). В деяких марках якісної сталі в кінці стоїть літера Г, що означає вміст марганцю до 1% (наприклад, Сталь 65Г). Умовно якісна вуглецева конструкційна сталь поділяється на низьковуглецеву (Сталь 05...Сталь 20), середньовуглецеву (Сталь 25...Сталь 40) та високовуглецеву (Сталь 45 ... Сталь 85).

Легованими називаються сталі, до складу яких крім заліза, вуглецю та неминучих домішок, входять *легуючі елементи***,**які надають сталям визначених фізико-хімічних, механічних, технологічних або експлуатаційних властивостей. В марках легованих сталей про присутність легуючих елементів свідчить наявність літер: Н – нікель *(Ni),* Х – хром *(Cr),* Г – марганець *(Mn),* С – кремній *(Si),*В – вольфрам *(W),* Ф – ванадій *(V),* М – молібден *(Mo),* Д – мідь *(Cu),*К – кобальт *(Co),* Б – ніобій *(Nb),* Т – титан *(Ti),* Ю – алюміній *(Al),* Р – бор *(B),* А – азот *(N).* Але, якщо літера А стоїть в кінці марки, то це свідчить про те, що сталь має більш низький вміст сірки й фосфору (до 0,03% кожного), тобто є високоякісною (сірка і фосфор є безумовно шкідливими елементами у залізовуглецевих сплавах). Сталі, в марках яких у кінці не стоїть літера А, можуть мати вміст сірки та фосфору до 0,05...0,06%. Цифри після літер вказують на приблизний вміст відповідного елемента в процентах, але якщо вміст елемента складає 1,0...1,5% і менше, то цифра не ставиться. Перші цифри в марці сталі показують вміст вуглецю в сотих частках процента (в інструментальній сталі – в десятих частках процента). В деяких випадках, наприклад, в інструментальних сталях, які містять вуглецю більше 1%, цифри, що визначають його вміст, відсутні. Так, наприклад, інструментальна сталь з 1,45...1,70%*С*, 11,0...12,5% *Cr* і 0,5...0,8% *Mo* позначається Х12М.

Леговані сталі зазвичай поділяються на конструкційні, інструментальні та сталі особливих властивостей (електротехнічні, нержавіючі, жароміцні, зносостійкі тощо).

Для виготовлення виливків використовують вуглецеві та леговані сталі. Ливарні сталі позначають аналогічно конструкційним сталям. У марках вуглецевих ливарних сталей 15Л, 20Л – 60Л, легованих – 30ХГСЛ, 15Х18Н9ТЛ, 110Г13Л та інші, літера Л означає належність до ливарних сплавів.

**Сплави кольорових металів** (**сплави кольорових металів** – non-ferrous alloys) в структурі ливарного виробництва займають біля 5%. Цим сплавам притаманні деякі особливі фізико-хімічні, механічні та експлуатаційні властивості, що робить їх більш привабливими для використання в ряді галузей промисловості. Це, зокрема, такі властивості як висока корозійна стійкість (мідні сплави), висока питома міцність (**питома міцність** – specific strength), яка визначається як відношення границі міцності матеріалу до його густини (алюмінієві, магнієві, титанові сплави).

***Алюмінієві сплави*** серед ливарних сплавів кольорових металів знайшли найбільш широке застосування (≈70% від загального випуску кольорового литва) завдяки високій питомій міцності, технологічності та досить високим фізико-механічним та експлуатаційним властивостям.

За ДСТУ 2839–94 ливарні алюмінієві сплави поділяються на п’ять груп:

1. Сплависистеми *Al-Si-Mg,* які маркуються літерами АК (А – алюміній, К – кремній) і цифрами, що вказують вміст кремнію у відсотках. Наприклад, ливарні алюмінієві сплави АК7, АК12 мають вміст кремнію, відповідно 7 і 12%.
2. Сплависистеми *Al-Si-Cu*, які маркуються літерами АКМ (А – алюміній, К – кремній, М – мідь) і цифрами, які вказують вміст кремнію й міді у відсотках, причому цифру ставлять одразу після відповідної букви. Якщо вміст відповідного компоненту 1%, то "1" не ставиться. Наприклад, АК5М, АК5М7 мають вміст кремнію 5% в обох сплавах і відповідно 1 і 7% міді.
3. Сплави системи *Al-Cu*, у яких маркування проводиться аналогічно. Приклад таких сплавів АМ5; АМ4,5Кд (букви "Кд" – означають кадмій).
4. Сплави системи *Al-Mg*. Приклад таких сплавів АМг4К1,5; АМг5К тощо (букви "Мг" – означають магній).
5. Сплави алюмінію з іншими компонентами (*Zn* – 3,5…12%, *Mg* – 1,5…2,0%, *Si* – 6…10%). Наприклад, АК7Ц9, АЦ4Мг тощо (буква "Ц" – означає цинк).

Збереглося також маркування ливарних алюмінієвих сплавів літерами АЛ (А – алюміній, Л – ливарний) і цифрами, що вказують тільки на порядковий номер у відповідному ГОСТі, наприклад, АЛ2, АЛ8, АЛ19 та ін.

Найкращі ливарні властивості мають сплави системи алюміній-кремній, так звані силуміни. Вони широко використовуються в автомобільній, авіаційній, приладо-, машино-, суднобудівній та електротехнічній промисловості. З них отримують виливки деталей складної конфігурації, що працюють при середніх та високих навантаженнях.

Сплави системи алюміній-мідь мають понижені ливарні властивості, низьку пластичність і корозійну стійкість, але добре оброблюються різанням. Схильні до утворення усадкових раковин і усадкової пористості. Можуть витримувати значні навантаження, в тому числі при підвищених температурах. Основна галузь використання – літакобудування.

Складні алюмінієві сплави, що вміщують мідь і кремній, мають високу рідкоплинність, корозійну стійкість, добре зварюються. Їх застосовують для виготовлення корпусів різних приладів, поршнів для автомобільних і тракторних двигунів, деталей авіаційних двигунів.

Алюмінієво-магнієві сплави серед усіх ливарних алюмінієвих сплавів мають найвищі механічні властивості, понижену щільність, високу корозійну стійкість. Їх використовують для виготовлення виливків, що зазнають значних вібраційних навантажень або впливу морської води. Однак, ці сплави мають понижені ливарні властивості, тому виготовлення виливків з них викликає суттєві технологічні труднощі.

***Мідні сплави*** після алюмінієвих займають друге місце в структурі виливків із сплавів кольорових металів (≈25%). В основному використовують латуні, олов’яні та безолов’яні бронзи.

Для легування мідних сплавів використовуються переважно такі елементи як олово, цинк, алюміній, кремній, марганець, нікель, берилій, свинець, залізо, фосфор. В марках мідних сплавів ці елементи позначаються такими літерами: *Zn* – Ц; *Sn* – О; *Al* – А; *Si* – К; *Mn* – Мц; *Ni* – Н; *Be* – Б; *Pb* – С; *Fe* – Ж; *P* – Ф. Мідні сплави поділяються на дві основні групи – **латуні**,**бронзи**та**мідно-нікелеві сплави.**

**Латуні** – найбільш розповсюджені мідні сплави, що відзначаються відносною дешевизною, високими механічними та технологічними властивостями. Основним легуючим елементом є цинк. Поділяються на подвійні (прості) та багатокомпонентні (леговані). Подвійні латуні маркуються літерою Л (латунь) і числом, яке показує середній вміст міді в сплаві (Л96, Л90, Л59 тощо). Решта в сплаві – цинк. Багатокомпонентні латуні, призначені для лиття, маркуються літерами Л (латунь), Ц (цинк), далі число, що показує вміст цинку в процентах, за ним ставляться літери, які показують наявність того чи іншого легуючого елемента з вказанням біля нього вмісту цього елемента в процентах. Наприклад, ЛЦ38Мц2С2 – латунь, яка містить 38% *Zn*, 2% *Mn*, 2% *Pb*, решта – мідь.

Для фасонного литва використовують, головним чином, багатокомпонентні латуні, які крім цинку можуть вміщувати марганець, залізо, алюміній, свинець, кремній. Це латуні таких марок: ЛЦ40С, ЛЦ40Мц1,5, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ16К4 та ін. Більшість з них мають високу рідкоплинність, оброблюваність різанням, зварність, корозійну стійкість, добрі антифрикційні властивості. Вони знаходять широке використання в суднобудуванні, для виготовлення деталей запірної арматури, що працює в прісній воді, деталей вузлів тертя тощо.

Оброблювані тиском складні латуні маркують літерою Л, за якою ідуть літери, що позначають легуючі елементи, а за ними перші дві цифри показують вміст міді, а наступні вміст інших елементів (решта цинк), наприклад, марка ЛАНКМц 75-2-2,5-0,5-0,5 означає латунь з масовою часткою *Cu* – 75%; *Al* – 2%; *Ni* – 2,5%; *Si* – 0,5; *Mn* – 0,5%.

**Олов’яні бронзи**широко застосовують для виготовлення литої запірної арматури, підшипників, зубчатих коліс, втулок, що працюють в умовах інтенсивного зношування, підвищеного тиску води та пари. Вони мають добрі ливарні властивості, що дозволяє отримувати складні за конфігурацією виливки. Це такі бронзи як БрО8Ц4, БрО10Ф1, БрО3Ц12С5, БрО10С10, БрО5С25 та інші.

**Безолов’яні бронзи**за деякими властивостями перевершують олов’яні і з успіхом можуть бути використані як замінники останніх. Вони мають більш високі механічні, корозійні та антифрикційні властивості. Однак їх ливарні властивості гірші: нижча рідкоплинність, вища схильність до окислення, значна лінійна усадка (2,0...3,0%). З них виготовляють арматуру, в тому числі для морської води, антифрикційні деталі, деталі для хімічної та харчової промисловості тощо. Це бронзи марок БрА9Мц2Л, БрА10Ж4Н4Л, БрА10Ж3Мц, БрС30, БрА9Ж4Н4МЦ та інші.

***Магнієві сплави*** для фасонного лиття розроблено на базі систем *Mg - Al - Zn, Mg - Zn - Zr, Mg - Nd.* Ливарні магнієві сплави маркуються літерами МЛ і цифрою (порядковий номер), наприклад, МЛ2, МЛ5, МЛ10 та ін. Магнієві ливарні сплави придатні для усіх відомих способів лиття – в піщані, оболонкові форми, в кокілі (**кокіль** – metal mould), під тиском (**лиття під тиском** – die casting, pressure casting), за виплавними моделями (**лиття за виплавними моделями** – investment casting).

Характерною особливістю цих сплавів є їх висока питома міцність, що і визначає основну галузь застосування – аерокосмічна промисловість. Із ливарних магнієвих сплавів виготовляють колеса, шасі літаків, корпуси насосів і приладів. Недоліком цих сплавів є легка окислюваність при виробництві виливків. Для запобігання запалювання магнієвого сплаву при стиканні з повітрям у процесі заливання струмінь металу опиляють порошком сірки.

***Титанові сплави***відзначаються малою густиною, високими питомою міцністю, фізико-механічними властивостями та корозійною стійкістю. Маркуються титанові сплави літерами ВТ і цифрою (порядковий номер), наприклад, ВТ5, ВТ20 та ін.

Деякі титанові сплави мають добрі ливарні властивості і застосовуються для виготовлення фасонних виливків (ВТ5Л, ВТ9Л, ВТ20Л та ін.). Вони мають високу рідкоплинність, малосхильні до утворення гарячих тріщин і концентрованих усадкових раковин. Однак виготовлення виливків з титанових сплавів викликає значні технологічні труднощі, зумовлені активною взаємодією рідкого розплаву зі всіма матеріалами, що використовуються для виготовлення ливарних форм. Задовільним матеріалом у цьому відношенні є графіт і в сучасному ливарному виробництві форми виготовляють, як правило, з його використанням.