

ЛЕКЦІЯ 26

КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ ТА СТАЛЕЙ

Вуглецеві сталі – це багатокомпонентні сплави заліза з вуглецем, марганцем, кремнієм, фосфором, сіркою та іншими компонентами.

Вплив постійних домішок на властивості сталі

Вуглець у сталях перебуває в складі фериту і цементиту. Ферит має невисоку міцність, малу твердість і добру пластичність, але зі збільшенням кількості вуглецю частка фериту у сталі поступово зменшується, а частка високотвердого і малопластичного цементиту зростає. Така зміна у співвідношенні фаз фериту й цементиту збільшує міцність та твердість і зменшує її пластичність та ударну в'язкість. Міцність зростає доти, поки частка вуглецю не досягне 0,8...0,9 %. Подальше збільшення вуглецю спричинює зменшення міцності, що призводить до руйнування під час навантаження крихкої сітки вторинного цементиту навколо перлітних зерен.

Поруч з механічними властивостями змінюються також і властивості технологічні. Зокрема з ростом кількості вуглецю в сталі її зварюваність і оброблюваність різанням погіршуються. Сталі добре зварюються, якщо кількість вуглецю в них не перевищує 0,25 %.

Марганець, як відомо, використовують в металургії з метою дезоксидації та десульфідизації рідкого металу. При цьому частина марганцю у вигляді MnO і MnS потрапляє в шлак, який згодом зливають, а інша — залишається в металі у складі фериту і цементиту. Розчинений у фериті марганець спотворює кристалічну решітку, внаслідок чого помітно підвищується міцність сталі, хоч пластичність змінюється мало.

Кремній застосовують для дезоксидації. Він утворює з феритом твердий розчин, спотворена гратка якого збільшує міцність і знижує пластичність сталі.

Фосфор розчиняється у фериті і хоч підвищує міцність, проте зменшує пластичність та ударну в'язкість сталі. Спад ударної в'язкості стає причиною **холодноламкості**, тобто схильності сталі до крихкого руйнування при низьких температурах.

Сірка не розчиняється в залізі, входить до складу хімічної сполуки FeS. Низька температура плавлення сполуки спричинює **червоноламкість** — схильність сталі до крихкого руйнування під час гарячої обробки тиском. Тому сталь з підвищеною концентрацією сірки не рекомендують для гарячої обробки тиском. Сірка, як і фосфор, є шкідливою домішкою.

Негативний вплив сірки істотно пом'якшує марганець, оскільки він утворює хімічну сполуку MnS з температурою плавлення 1620 °С. В межах температур гарячої обробки тиском (800...1200 °С) MnS пластичний і не сприяє крихкому руйнуванню, але сульфіди марганцю при нормальній температурі можуть стати центрами зародження тріщин під повторно-змінними навантаженнями.

Кисень, азот і водень у сталях можуть перебувати у складі оксидів і нітридів, у твердому розчині α -заліза та у газоподібному стані в мікропорожнинах. Неметалеві вкраплення знижують ударну в'язкість і втомну міцність.

Розчинність кисню, азоту та водню в α -залізі незначна й істотно зменшується зі зниженням температури. Це призводить до виділення в пограничних зонах оксидів чи нітридів. Що стосується водню, то він не утворює із залізом хімічних сполук і може протягом тривалого часу поступово виділятися зі сталі. Як наслідок — окремі властивості сталі поліпшуються. Якщо водню багато, то він утворює в мікропорожнинах високий тиск, що призводить до виникнення внутрішніх тріщин — **флокенів**. Флокени трапляються в усіх сталях, однак їх найбільше в сталях, що містять хром. Що більша міцність сталі, то флокени небезпечніші. Шкідливий вплив газів можна зменшити, дегазуючи рідкий метал перед розливанням.

Класифікація вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі класифікують за структурою, способом виробництва, ступенем дезоксидації, якістю та призначенням.

За **структурою** вуглецеві сталі поділяють на доєвтектоїдні, евтектоїдні, та заєвтектоїдні.

За **способом виробництва** розрізняють сталі, виплавлені в кисневих конвертерах, в електropечах і в мартенівських печах.

Залежно від *ступеня дезоксидації* сталі поділяють на спокійні, напівспокійні й киплячі. Всі вони за однакової масової частки вуглецю мало відрізняються статичною міцністю, проте мають різні пластичні властивості, зумовлені неоднаковою масовою часткою кремнію, яка найбільша в спокійній сталі (0,15...0,30 %) і найменша в киплячій (до 0,05 %). Через найменшу кількість кремнію, розчиненого у фериті, кипляча сталь найпластичніша.

За *якістю* розрізняють сталі звичайної якості, якісні та високоякісні. Критерієм якості сталей є масові частки шкідливих домішок — фосфору і сірки.

Відповідно до *призначення* сталі поділяють на конструкційні з масовою часткою вуглецю до 0,65 % та інструментальні з масовою часткою вуглецю в межах від 0,65 до 1,35 %. Конструкційні сталі використовують для виготовлення деталей машин, металевих конструкцій та будівельних споруд. З інструментальних сталей виробляють різальні, вимірвальні інструменти та штампи.

Сталі вуглецеві конструкційні звичайної якості

Вуглецеві сталі звичайної якості є найдешевшими серед сталей. Вони мають підвищену масову кількість фосфору (до 0,07 %) і сірки (до 0,06 %). Марки цих сталей позначають літерами и цифрами. Літери ***Ст*** означають „сталь”, цифри - умовний номер марки (від 0 до 6) залежно від хімічного складу, літери ***кп, пс, сп*** - ступінь дезоксидації (кп - кипляча, пс – напівспокійна, сп - спокійна). Хімічний склад можна визначити з довідників.

При підвищеному вмісті в сталі марганцю в марці після цифри записують літеру Г, наприклад Ст3Гсп.

Якщо для виплавлення сталей звичайної якості використовують значну кількість скрапу, то в їхньому складі допускається масова частка міді до 0,40%, хрому та нікелю – до 0,35%.

Сталі звичайної якості постачають замовникам у вигляді листів та прокатаних напівфабрикатів стандартного профілю. Ці профілі й листи попередньо розрізують до заданих розмірів, після чого з них виготовляють різні металоконструкції або прості заготовки, призначені переважно для

малонавантажених деталей. Заготовки складнішої форми отримують куванням або штампуванням.

Застосовуючи термічну обробку (в тому числі й зміцнювальну), можна змінювати в певних межах структуру та властивості сталей звичайної якості.

Сталі конструкційні вуглецеві якісні

Сталі конструкційні вуглецеві якісні відрізняються від сталей звичайної якості меншою масовою часткою фосфору (не більше ніж 0,035 %), сірки (не більше ніж 0,040 %), а також меншими частками неметалевих включень і газів. Металургійний завод, що виплавляє ці сталі, гарантує не лише хімічний склад, але й механічні властивості.

Марки конструкційних вуглецевих якісних сталей позначають двозначними числами (що означають середню масову частку вуглецю у сотих частках відсотка) і літерами *кп* (кипляча сталь) або *пс* (напівспокійна). Спокійні сталі маркують без індексу *сп*. Наприклад, сталь 45 — спокійна; вона має в середньому 0,45 % вуглецю.

Зі збільшенням у сталі кількості вуглецю від 0,08 до 0,60 % її міцність σ_B у нормалізованому стані зростає від 320 до 680 МПа, а відносне видовження δ зменшується від 33 до 12 %. Із маломіцних сталей марок 05, 08, 10 завдяки високій пластичності виготовляють вироби холодним штампуванням, зі сталей марок 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 виготовляють різноманітні деталі (в тому числі і відповідальні), що вимагають нормалізації або поверхневого гартування.

Недоліком вуглецевих сталей є мала прогартовуваність.

Різновидністю конструкційних вуглецевих сталей є ***автоматні сталі***, які використовуються для виготовлення малонавантажених деталей на верстатах - автоматах. Ці сталі мають підвищену оброблюваність, для чого часто підвищують вміст сірки (до 0,3%), фосфору (до 0,15%) і марганцю (0,70 – 1,55%). Такі сталі маркують літерою А та цифрами, які показують середній вміст вуглецю (А12, А20). Якщо сталь призначена для виготовлення виливків, то в кінці її марки записують літеру *Л* (25Л, 45Л), а у марок якісних сталей, призначених для виготовлення котлів, що працюють під тиском, після двохзначного числа пишуть літеру *К* (12К, 22К).

Сталі вуглецеві інструментальні

Сталі інструментальні нелеговані (вуглецеві) бувають якісні і високоякісні. Масова частка шкідливих домішок у якісних сталях не більше ніж 0,030 % фосфору й не більше ніж 0,028% сірки, а у високоякісних сталях - не більше ніж 0,025 % фосфору й не більше ніж 0,018% сірки.

Марки інструментальних вуглецевих сталей позначають літерою **У** (вуглецева) і числами, що означають масову частку вуглецю у десятих долях відсотка (У7, У12). В сталі У7 маємо в середньому 0,7 % вуглецю, а в сталі У12 — 1,2 %. За підвищеної кількості марганцю у сталі після числа дописують літеру **Г** (У8Г). Високоякісні сталі позначають літерою **А** (У8А, У12А).

Інструменти для різання металів працюють в умовах високого тиску, температури й тертя. Щоб ефективно їм протистояти, ці матеріали повинні мати високу твердість, зносостійкість, теплостійкість і міцність.

Твердість різальної частини інструмента має значно перевищувати твердість оброблюваного матеріалу.

Зносостійкість — це здатність інструмента якомога довше протистояти поступовому його руйнуванню з боку матеріалу заготовки. Внаслідок такого руйнування різальний інструмент затуплюється. Що твердіший матеріал інструмента, то вищою буде його зносостійкість.

Теплостійкістю називають температуру, при нагріванні до якої твердість інструмента починає стрімко знижуватись внаслідок структурних змін.

Міцність різального інструмента повинна бути достатньою, щоб сприймати великі сили різання.

Із сталей У7, У7А виготовляють інструменти для обробки дерева (сокири, стамески, долота) та ударні інструменти (пуансони, молотки, зубила). Для виготовлення деревообробних інструментів (фрез, пил, свердл) використовують сталі У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А.

Із сталей У10, У10А, У12, У12А виготовляють металообробний інструмент, що працює при невисоких температурах (мітчики, плашки, штампи, вимірювальні інструменти).

Із сталей У12, У12А, У13, У13А виготовляють напилки, шабери.

Чавуни.

Чавуни — це залізовуглецеві сплави, масова частка вуглецю в яких перебуває в межах від 2,14 до 6,67 %. Крім заліза та вуглецю, в чавунах промислового виробництва є постійні домішки кремнію, марганцю, фосфору та сірки в кількостях більших, ніж у сталях. Чавуни характеризуються добрими ливарними властивостями, у зв'язку з чим широко використовуються для виготовлення різноманітних виливків. Ливарні властивості чавуну підвищуються зі зменшенням його температурного інтервалу кристалізації. Чавуни мають достатню міцність, а при значній кількості цементиту в структурі — добру зносостійкість. З огляду на невисоку пластичність чавуни не можна обробляти тиском. Чавун, як правило, дешевший від сталі. Механічні властивості чавунів і галузі їх застосування визначаються структурою, на формування якої впливає не лише хімічний склад, але й швидкість охолодження.

За структурою чавуни поділяють на білі, чавуни з пластинчастим графітом (сірі), ковкі та чавуни з кулястим графітом (високоміцні).

Білі чавуни

Білими називаються чавуни, в яких весь вуглець перебуває у хімічній сполуці Fe_3C . Їх злами мають білий колір.

При охолодженні чавуну на лінії **ліквідус** із рідкого розчину виділяються кристали аустеніту й первинного цементиту. На ділянці **ECF** лінії **солідус** відбувається евтектична реакція з утворенням ледебуриту. Між лініями **ECF** і **PSK** із аустеніту виділяється вторинний цементит, а на лінії **PSK** аустеніт розпадається на дисперсну двофазову структуру — **перліт**. Отже, у структурі всіх білих чавунів наявна дуже тверда й крихка евтектика — **ледебурит**. Білі чавуни застосовують лише для виготовлення зносостійких деталей машин, при виготовленні яких не потрібна механічна обробка.

Графітизація чавунів

На відміну від білих, сірі, ковкі й високоміцні чавуни мають вкраплення графіту в металевій основі. Графіт виділяється з рідкого і

твердого розчинів, а також з цементиту. Залежно від умов кристалізації у чавунах формується графіт або цементит. Утворення графіту потребує меншої швидкості охолодження. Враховуючі ці та інші особливості, можна керувати процесом структуроутворення в чавунах.

Перетворення цементиту в графіт відбувається також під час тривалого нагрівання.

Вплив домішок і швидкості охолодження на структуру та властивості чавунів

Постійні домішки, (кремній, марганець, сірка та фосфор), а також швидкість охолодження істотно впливають на процес графітизації.

Кремній найбільше посилює графітизацію чавуну і під час первинної кристалізації, і під час розкладання цементиту. Підвищуючи вміст кремнію, можна збільшувати кількість графіту та зменшувати кількість цементиту, наближаючись до створення чавуну з феритною металевою основою. Зменшуючи частку кремнію, можна сформувати структуру чавуну з перлітною основою.

Марганець протидіє графітизації, сприяючи утворенню цементиту. Водночас він дещо поліпшує механічні властивості відливоків.

Сірка — шкідлива домішка, що погіршує механічні й ливарні властивості чавуну. Вона сильніше від марганцю протидіє графітизації і сприяє виділенню цементиту. Крім цього, сірка знижує рідкоплинність чавуну, збільшує усадку, підвищує схильність до утворення газових бульбашок і тріщин. З цієї причини вміст сірки в чавунах дуже обмежують.

Фосфор практично не впливає на графітизацію. Його використовують у чавунах для підвищення рідкоплинності, твердості та зносостійкості. Чавуни з високою концентрацією фосфору широко використовують для художнього лиття.

З-поміж легувальних елементів найпомітніший вплив на графітизацію мають мідь, нікель і хром. ***Мідь*** і ***нікель*** інтенсифікують графітизацію, а ***хром*** її послаблює.

Дрібні тверді частинки, зрівноважені в рідкому розчині, сприяють виділенню графіту, будучи центрами графітизації.

Збільшення швидкості охолодження гальмує виділення графіту і сприяє утворенню цементиту.

Крім швидкості охолодження, сильно впливають на графітизацію чавуну вуглець і кремній. Зі збільшенням їх сумарної частки графітизація посилюється.

Таким чином, регулюючи сумарну частку складових металу та швидкість охолодження, можна досягти бажаної структури металевої основи сірого чавуну.

Сірі чавуни (з пластинчастим графітом)

В структурі цих чавунів більша частка вуглецю перебуває у вигляді графіту пластинчастої форми в площині шліфа. Решта вуглецю разом із залізом утворює структуру металевої основи (феритну, феритно-перлітну або перлітну).

На формування структури чавуну з пластинчастим графітом впливають такі фактори, як хімічний склад, швидкість охолодження, а також наявність у рідкому розчині дрібних твердих частинок. Вуглець (2,9...3,7 %) і кремній (1,2...2,6 %) сприяють виділенню графіту, а марганець (0,5...1,1 %) і сірка (0,12...0,15 %) — утворенню цементиту. Змінюючи сумарну масову частку вуглецю та кремнію з одного боку і зменшуючи сумарну масову частку марганцю та сірки з другого, можна регулювати співвідношення між вільним та хімічно зв'язаним вуглецем.

Чавуни з пластинчастим графітом мають добрі ливарні властивості, легко обробляються різанням, здатні гасити вібрації, що виникають в конструкціях, є найдешевшими і найпоширенішими серед ливарних сплавів. Водночас чавуни з пластинчастим графітом відзначаються невисокою міцністю ($\sigma_B = 100...350$ МПа) і пластичністю через особливості форми графітових вкраплень з гострими краями. Такі вкраплення можна розглядати як сильні внутрішні концентратори напружень або навіть як мікротріщини.

Умовне позначення марки має літери **СЧ** — сірий чавун й цифри — значення мінімальної межі міцності матеріалу на розрив σ_B в 10^{-1} МПа.

При виборі марки чавуну для конкретних умов роботи беруть до уваги як механічні так і технологічні властивості. Феритні сірі чавуни

СЧ10, СЧ15, СЧ18 призначені для мало- і середньо-навантажених деталей: кришок, фланців, маховиків, корпусів редукторів і підшипників, супортів, гальмівних барабанів, дисків зчеплення тощо. Ферито-перлітні сірі чавуни СЧ20, СЧ21, СЧ25 використовують для деталей, які працюють при підвищених статичних і динамічних навантаженнях: блоків циліндрів, картерів двигунів, поршнів, станин верстатів, зубчастих коліс тощо. Перлітні сірі чавуни СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 мають найвищі механічні властивості (завдяки дрібним відокремленим графітним вкрапленням) і використовують для деталей, які працюють при великих навантаженнях або у важких умовах стирання: зубчасті колеса, гільзи блоків циліндрів, шпинделі, розподільчі вали і т.п. Ці чавуни мають найвищу герметичність, тому з них виготовляють також корпуси насосів і компресорів, арматуру гальмівної пневматики та гідроприводів. Для деталей, які працюють при підвищених температурах, сірі чавуни *легууть*. Жаростійкості сприяють домішки хрому та алюмінію, жароміцності — хрому, нікелю й молібдену. З метою підвищення зносостійкості гільз циліндрів, розподільчих валів та інших деталей їх робочі поверхні піддають зміцнювальній термічній обробці, а також насичують азотом.

Ковкі чавуни

Ковкими називають чавуни з пластівчастою формою графіту, отримані внаслідок спеціального довготривалого відпалу відливок з білого чавуну. Щоб отримати ковкий чавун, необхідно виготовити відливки білого чавуну, потім їх відпалити з метою графітизації. Утворений внаслідок відпалу графіт має компакту майже рівноосьову, але не сферичну форму. Назва ковкий чавун умовна, тому що відливки завжди виготовляють литтям, а не куванням. Графіт пластівчастої форми є слабшим внутрішнім концентратором напружень порівняно з графітом пластинчастим, що міститься в сірому чавуні, внаслідок чого ковкі чавуни міцніші і пластичніші, ніж сірі. Залежно від режиму відпалу металева основа ковкого чавуну може бути феритною, перлітною і рідше — феритно-перлітною.

Щоб не допустити навіть часткової графітизації білого чавуну під час його охолодження в ливарній формі, треба вибирати товщину стінок відливка в межах від 3 до 50 мм, а хімічний склад рідкого розчину підтримувати в доволі вузьких межах: 2,4...2,9 % С; 1,0...1,6 % Si; 0,3...1,0 % Mn; до 0,2 % P і до 0,18 % S. Тобто чавун має порівняно низький вміст

вуглецю, кремнію та марганцю. Після відпалу на графітизацію чавуни з такою низькою часткою вуглецю матимуть у структурі небагато компактних графітових вкраплень, що сприятиме поліпшенню їхніх механічних властивостей. Тому, що вища міцність ковкого чавуну потрібна, то менше вуглецю повинно бути у вихідному білому чавуні.

Відпал білого чавуну виконують в одну або дві стадії залежно від структури, яку необхідно сформувати, але графітизація доволі тривала та енергомістка, що стримує широке застосування ковких чавунів у машинобудуванні.

Залежно від механічних властивостей ковкі чавуни відповідно маркують. Марки ковких чавунів позначають літерами **КЧ** і числами, перше з яких відповідає межі міцності на розрив σ_B в 10^{-1} МПа, а друге — відносному видовженню — δ у %. Феритні чавуни (КЧ 30-6...КЧ 37-2) характеризуються високою пластичністю ($\delta = 6...12\%$), а перлітні (КЧ 45-7...КЧ 80-1,5) — підвищеною міцністю й твердістю.

З ковких чавунів виготовляють відливки, що працюють під ударними або знакозмінними циклічними навантаженнями (корпуси редукторів, корпуси задніх мостів вантажних автомобілів, вилки карданних валів, муфти тощо).

Високоміцні чавуни (з кулястим графітом)

Чавун з кулястим графітом має в металевій основі графіт кулястої форми. Структура металевої основи — ферит, ферито-перліт або перліт. Чавун з феритною основою найменш міцний, але високопластичний, а чавун з перлітною основою — міцний, але малопластичний.

Щоб отримати високоміцний чавун, перегрівають рідкий метал та додають до нього модифікатори (магній, цезій, кальцій), які сприяють сфероїзації графіту під час кристалізації. Кулястий графіт порівняно з пластинчастим є слабшим концентратором напружень. Високоміцні чавуни мають добрі ливарні показники, вони перевершують чавуни з пластинчастим графітом за механічними властивостями ($\sigma_B = 350...1000$ МПа, $\delta = 2...22\%$) і успішно конкурують з ковкими чавунами та сталями. У промислово розвинутих країнах частка чавунів з кулястим графітом серед ливарних сплавів становить 20...30 %. Завдяки високій міцності й пластичності високоміцних чавунів з них виготовляють відповідальні

деталі: колінчасті та розподільчі вали, поршні та поршневі кільця, шестерні та зірчатки, вальки прокатувальних станів, шаботи ковальських молотів, корпуси парових турбін, супорти, різцетримачі і планшайби металорізальних верстатів. Марки чавунів з кулястим графітом позначають літерами **ВЧ** і числами, перше з яких відповідає межі міцності на розрив σ_B в 10^{-1} МПа, а друге — відноському видовженню — δ у %. (ВЧ 35-2,2, ВЧ 60-3, ВЧ 100-2).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який сплав називають чавуном?
2. Який сплав називають сталлю?
3. Чим відрізняється сталь від чавуну?
4. Яка суть процесу переробки чавуну на сталь?
5. Які елементи визначають основні властивості сталі?
6. За якими ознаками класифікують чавуни?
7. За якими ознаками класифікують сталі?
8. Чим відрізняються сталі звичайної якості від сталей якісних, позначення марок?
9. Чим відрізняються якісні сталі від високоякісних, позначення марок?
10. Які сталі відносять до конструкційних загального призначення, їх позначення?
11. Які сталі відносять до конструкційних спеціального призначення, їх маркування?
12. Які сталі називають інструментальними, їх позначення?
13. Які чавуни називають легованими, їх маркування і назви?
14. Як сталі класифікують за призначенням?
15. В чому полягає основна відміна білого чавуну від сірого?
16. Який з чавунів має більшу міцність сірий чи ковкий?
17. Який з чавунів більш пластичний, ковкий чи високоміцний?
18. Який з чавунів більш твердий, сірий чи високоміцний?
19. В якому чавуні графіт перебуває у вигляді цементиту, кульок, пластинок, пластівців?
20. Як маркують сірі, ковкі, високоміцні, чавуни, наведіть приклади?