

Винахід належить до металургії, зокрема стосується розробки складу високоміцного чавуну з кулястим графітом для виготовлення із нього литих деталей складної конфігурації з різною товщиною стінок та підвищеним комплексом механічних і експлуатаційних властивостей для потреб машинобудівної, оборонної, енергетичної та інших галузей промисловості України.

Відомі марки високоміцного чавуну ВЧ600-3 та ВЧ700-2 (ДСТУ3925-99 "Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки") з наступним співвідношенням компонентів, мас. %:

	ВЧ600-3	ВЧ700-2
вуглець	3,2...3,6	3,2...3,6
кремній	1,9...2,9	1,9...2,9
марганець	0,4...0,7	0,5...0,9
магній	≥0,035	≥0,035
фосфор	≤0,1	≤0,1
сірка	≤0,01	≤0,01
хром	≤0,15	≤0,15
залізо	решта	решта.

Вказані марки високоміцного чавуну мають недостатній рівень пластичних властивостей із-за утворення переважно перлітної металевої основи і цементиту (відбілу) у виливках з товщиною стінок менше 10 мм, а також широкий інтервал твердості (192-277 НВ для ВЧ600-3, 228-302 НВ для ВЧ700-2), що сукупно негативно впливають на їх оброблюваність різанням.

Близьким за складом та властивостями є високоміцний чавун (патент CN108929979 (А), В22С9/08; В22С9/22; С22С33/10; С22С37/04; С22С37/10; F15В15/20; опубл. 04.12.2018 р.), який має наступне співвідношення компонентів, мас. %:

вуглець	3,65...3,75
кремній	2,2...2,3
марганець	0,15...0,25
хром	≤0,01
магній	0,035...0,045
титан	≤0,012
цинк + свинець + ванадій	≤0,015
рідкісноземельні метали	0,005...0,007
сірка	0,008...0,015
фосфор	≤0,015
залізо	решта.

Недоліками даного чавуну є складність стабільного отримання високоміцного чавуну заданого складу, формування понад 30 % перліту в металевій основі та низький рівень міцнісних показників, підвищена схильність до утворення відбілу в тонких перетинах виливків із-за низького вмісту кремнію і усадкових дефектів із-за присутності цинку, які ускладнюють наступне механічне оброблення виливків.

Задачею винаходу є зменшення схильності високоміцного чавуну до утворення структурно-вільного цементиту, одержання феритної металевої матриці, підвищення механічних властивостей у литих виробках, покращення оброблюваності різанням.

Поставлена задача вирішується тим, що високоміцний чавун, який містить вуглець, кремній, марганець, хром, магній, рідкісноземельні метали (РЗМ), титан, ванадій, сірку, фосфор, залізо, згідно з винаходом має збільшену кількість кремнію і додатково містить нікель, кальцій, алюміній, барій, ніобій, азот, при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

вуглець	2,85...3,25
кремній	3,3...4,0
марганець	0,2...0,5
хром	0,05...0,20
магній	0,035...0,055
рідкісноземельні метали	0,005...0,015
титан	0,015...0,03
ванадій	0,005...0,025
нікель	0,4...0,6
кальцій	0,008...0,015
алюміній	0,005...0,010
барій	0,005...0,01
ніобій	0,005...0,15
азот	0,002...0,005
сірка	≤0,015

фосфор	≤0,05
залізо	решта.

Вибір граничних меж компонентів в чавуні запропонованого складу зумовлений наступними обставинами. Вуглець сприяє графітизації як в евтектичному, так і в евтектоїдному інтервалі температур і феритизації металевої основи. Високий вміст вуглецю є важливою умовою покращення технологічності високоміцного чавуну, забезпечуючи зниження схильності до утворення структурно-вільного цементиту і зменшення усадки. Запропонований вміст вуглецю забезпечує формування безцементитної структури високоміцного чавуну для виготовлення з нього тонкостінних виливків. Більший вміст приводить до флотації включень кулястого графіту і їх накопичення в верхній частині виливка.

Кремній в кількості більше 3,25 % сприяє кристалізації чавуну за стабільною системою (усуває відбіл), ефективно підвищує ступінь графітизації і феритизації структури, яка додатково ним зміцнюється. Перевищення верхньої межі вмісту кремнію призводить до суттєвого зниження відносного видовження.

0,2...0,5 % марганцю дозволяє одержати в литому стані феритну структуру металевої основи високоміцного чавуну. При такому вмісті марганцю створюються умови для одержання у виливках з високоміцного чавуну високого відносного видовження і підвищеної міцності.

Хром є перлітоутворювальним елементом, який підвищує міцність і твердість чавуну, тому верхня межа за вмістом хрому не перевищує 0,2 %. Нижня межа зумовлена наявністю хрому в металевій шихті, яка використовується при виплавці чавунів. При більшій його кількості утворюється цементит в структурі металевої основи і відбувається підвищення твердості чавуну.

Магній є елементом, який сфероїдизує графіт. Нижня межа вмісту магнію (0,035 %) зумовлена необхідністю стабільного одержання кулястого графіту в чавуні. Перевищення верхньої межі вмісту (0,055 %) призводить лише до підвищення витрати модифікаторів без значного впливу на форму графіту і структурні складові металевої матриці чавуну.

Рідкісноземельні метали ефективно модифікують, розкислюють і десульфують розплав чавуну, нейтралізують дію домішок демодифікувальних елементів. РЗМ сприяють одержанню неметалевих включень компактної форми, що позитивно впливає на пластичні властивості чавуну. Нижня межа вмісту РЗМ (0,005 %) достатня для нейтралізації дії домішок демодифікувальних елементів, верхня (0,015 %) - обмежена підвищенням схильності чавуну до відбілу.

Титан - графітизувальний елемент з високою спорідненістю до кисню, рафінує розплав чавуну. Утворює тугоплавкі сполуки з азотом (TiN і TiCN), які виступають зародками кристалізації, сприяє подрібненню литої структури, зменшенню ліквідації і підвищенню міцності. Збільшення вмісту титану призводить до зниження ступеня сфероїдизації графітних включень.

Ванадій є карбідоутворювальним елементом, проте у вказаній кількості мікролегує матрицю і додатково зміцнює її за рахунок утворення нітриду ванадію VN, підвищуючи стабільність міцнісних властивостей високоміцного чавуну. При вмісті більше 0,25 мас. % збільшується ймовірність утворення відбілу і зниження пластичності.

Нікель є графітизувальним елементом, проте в 2-4 рази слабшим, ніж кремній. Нікель зміцнює твердий розчин (ферит), сприяє утворенню певної кількості перліту в металевій основі. В запропонованій кількості нікель підвищує рівень і вирівнює показники міцності і пластичні властивості високоміцного чавуну в різних за перетином ділянках виливка. Також дещо зменшується твердість чавуну з кулястим графітом, що покращує його оброблюваність різанням.

Алюміній в зазначеній кількості є графітизатором і розкислювачем розплаву. Ефект розкислення чавуну починає проявлятися при концентрації алюмінію 0,003 %. При підвищенні вмісту виникає ризик утворення окисних плівок і, як наслідок, зниження герметичності та пластичності металу виливків.

Кальцій і барій є потужними інокуляторами і графітизаторами в чавуні. Активно сприяють подрібненню включень кулястого графіту і евтектичного зерна, що значно знижує ліквідацію карбідоутворювальних елементів, а також фосфору. Нижня межа (0,008 % для кальцію і 0,005 % для барію) забезпечує їх модифікувальну дію на утворення додаткових зародків кулястого графіту і зменшення схильності до утворення структурно-вільного цементиту. Верхня межа (0,015 % для кальцію і 0,01 % для барію) зумовлена тим, що подальше збільшення їх вмісту стає малоефективним.

Вказана кількість тугоплавкого ніобію сприяє одночасному підвищенню тимчасового опору під час розтягування, умовної границі плинності і ударної в'язкості без надрізу при незначному зменшенні відносного видовження і збільшенні кількості перлітної складової структури високоміцного чавуну з утворенням дрібних карбідів NbC, які виступають додатковими центрами кристалізації.

Азот у вказаній кількості викликає подрібнення структури, підвищення кількості включень кулястого графіту і механічних властивостей за рахунок утворення тугоплавких нітрідів і карбонітрідів з марганцем, титаном та ванадієм.

В якості шихти використовували чушковий переробний чавун ПВК-3, відходи електротехнічної сталі (для підвищення вмісту азоту в розплаві) і феросплави (для введення ванадію, нікелю, ніобію,

кальцію, барію). Чавун виплавляли в індукційній печі ICT-016. Сфероїдизувальне модифікування проводили комплексною феросиліцій-магнієвою лігатурою ФСМг7 (в кількості 1,0 % від маси розплаву).

Для дослідження схильності високоміцного чавуну до утворення при кристалізації структурно-вільного цементиту в сирій піщано-глиняній формі відливали ступеневі проби з розміром кожного ступеня 60×60 мм товщиною 1,5; 2,5; 5,0 та 10 мм. Кількість цементиту в структурі визначали металографічним аналізом центральної частини кожного ступеня.

Для визначення тимчасового опору під час розтягування σ_B , умовної границі плинності $\sigma_{0,2}$ та відносного видовження δ відливали стандартні клиновидні проби з товщиною основи 25 мм, з нижньої частини яких отримували циліндричні розривні зразки діаметром 5 мм та зразки для металографічного аналізу.

В табл. 1 наведено склад отриманих високоміцних чавунів, в табл. 2 - результати металографічного аналізу, в табл. 3 - результати механічних випробувань.

Запропонований склад високоміцного чавуну ефективно усуває утворення структурно-вільного цементиту, сприяє формуванню однорідної феритної металевої основи з кількістю фериту більше 93 % і підвищенню середніх значень механічних властивостей в литому стані: тимчасовий опір під час розтягування σ_B зростає на 22,3...30,1 %, умовна границя плинності $\sigma_{0,2}$ - на 35,6...40,8 %, відносне видовження δ в 1,7...2,0 рази. При цьому стійкість різального інструменту при механічному обробленні підвищується на 34...42 %.

Таблиця 1

Чавун	№ з/п	Вміст елемента*, мас. %														
		C	Si	Mn	Cr	Mg	P3M	Ti	V	Ni	Ca	Ba	Al	Nb	N	P
Відомий	1	3,71	2,24	0,23	0,009	0,041	0,005	0,011	0,014**	-	-	-	-	-	-	0,013
Пропонований	2	3,17	3,48	0,36	0,08	0,039	0,006	0,028	0,11	0,42	0,015	0,009	0,007	0,008	0,0023	0,035
	3	2,94	3,99	0,48	0,14	0,053	0,012	0,017	0,23	0,59	0,009	0,006	0,009	0,139	0,0046	0,048

*решта Fe, вміст сірки 0,010-0,012 мас. %: **сумарний вміст Zn+Pb+V.

Таблиця 2

Результати досліджень

Чавун	№ з/п	Кількість цементиту, %		в ступені товщиною, мм		Кількість фериту, %
		1,5	2,5	5,0	10,0	
відомий	1	37	24	9	0	до 65
пропонований	2	3	0	0	0	понад 93
	3	1	0	0	0	понад 96

Таблиця 3

Результати механічних випробувань

Чавун	№ з/п	Механічні властивості				Відносна механічна оброблюваність
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Твердість HB	
відомий	1	548±18	402±21	7,2±1,7	182-240	1,00
пропонований	2	670±16	545±12	14,1±1,2	161-184	1,34
	3	715±13	566±14	12,1±1,4	171-205	1,42