

УДК 669.18 (075.8)

СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ ЧАВУНІВ РІЗНОГО СТУПЕНЯ ГРАФІТИЗАЦІЇ

В.С.Богушевський, О.С. Абрамова, М.В.Горбачова, Х.І.Зайцева

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

Розглянуті споживчі властивості чавунів різного ступеня графітизації – сірого, ковкого, високоміцного та чавуна з особливими властивостями. Наведені механічні характеристики й області застосування чавунів з різним ступенем графітизації.

Рассмотрены потребительские свойства чугунов разной степени графитизации – серого, ковкого, высокопрочного и чугуна с особыми свойствами. Приведены механические характеристики и области применения чугунов с разной степенью графитизации.

Considered consumer properties of cast-irons of different degree of graphitization - grey, malleable, high-strength and cast-iron with the special properties. The brought mechanical descriptions over and application of cast-irons domains with the different degree of graphitization.

Вступ

Наявність графітових включень забезпечує чавуну в порівнянні зі сталлю цілий ряд істотних переваг. Чавун нечутливий до концентрації напружень, завдяки чому отвори, кути, переходи, а також можливі у виливках раковини, пори та неметалеві включення порівняно мало впливають на реальну конструкційну міцність, у той час як у сталевих виливках такі надрізи значно погіршують механічні властивості.

Сучасне машинобудування вимагає використання матеріалів, що мають не тільки підвищену міцність, але й ряд спеціальних властивостей, які забезпечують довготривалу надійну роботу відливок в різних умовах експлуатації. Залежно від структури металевої матриці чавун має різні властивості. Так, наприклад, перлітна структура характеризується високими показниками межі міцності при розтяганні й порівняно низькими показниками за подовженням, чавун з перлітною структурою має високу зносостійкість. Феритна структура характеризується високими

показниками відносного подовження (δ) й трохи зниженими показниками межі міцності при розтяганні.

Куляста форма включень графіту і можливість варіювати структуру металевої основи в широких межах дозволили надати чавуну досить гарні механічні та експлуатаційні властивості, недосяжні раніше в литому стані в жодному з існуючих видів чавуну. Розглянемо різні структури металевої матриці та залежність властивостей чавуну від вмісту та форми графіту.

Сірий чавун

Основними характеристиками механічних властивостей сірого чавуну (СЧ) є межа міцності при розтягуванні (σ_B) й при згинанні ($\sigma_{Ви}$) (табл. 1). Модуль пружності СЧ залежить від хімічного складу, форми й кількості графітових включень, його значення становить 6 – 160 ГПа й знижується при підвищенні температури, але воно менше, ніж у високоміцного чавуну та сталі. Міцність СЧ із підвищенням температури до 570 – 670 К змінюється незначно. Межа міцності СЧ при стисканні приблизно в 2 – 4 рази вище, ніж при розтягненні, що є однією з особливостей СЧ як машинобудівного матеріалу – деталі машин із СЧ найбільш доцільні в умовах переважно стискаючих навантажень.

Таблиця 1. Механічні властивості сірого чавуну після термічної обробки

Термічна обробка	σ_B , МПа	<i>HB</i> , МПа
Литий стан	259-280	...
Н	269-301	2170-2480
З	196-252	5700-6500
З + О, 420, 2 год.	231-273	5300-6100
З + О, 450, 2 год.	252-280	5000-5700
З + О, 500, 1 год.	273-301	4700-5300
З + О, 590, 1 год.	315-392	4500-5000

Ударна в'язкість СЧ залежить від в'язкості металевої основи, кількості та форми графітових включень і багатьох інших факторів, тому для СЧ ця характеристика є у деякій мірі наближена. Через наявність у СЧ великої кількості концентраторів напружень у вигляді графітових пластинок чутливість СЧ до надрізу при визначенні ударної в'язкості мінімальна й помітно підвищується лише при значному зниженні вмісту графіту, тобто з поліпшенням міцнісних властивостей чавуну.

Сірий чавун широко застосовується у верстатобудуванні, в авто-тракторобудуванні, у хімічному машинобудуванні, електромашинобудуванні. Хімічний склад СЧ визначається ГОСТ 1412-85.

Ковкий чавун

За ливарними й механічними властивостями ковкий чавун (КЧ) займає проміжне положення між СЧ і сталлю, за різноманітністю властивостей (табл. 2) залежно від структури КЧ близький до сталі й у ряді випадків є повноцінним її заміником. Виливки з товщиною стінки 7 – 8 мм витримують гідростатичний тиск до 400 МПа, що дозволяє використати КЧ для виготовлення деталей водо-, газо- і паропровідних установок.

Значення σ_B і δ для КЧ залежать від товщини стінки виливка. Більш грубіша структура при кристалізації, у зв'язку зі зменшенням швидкості охолодження, викликає зменшення міцності й пластичності чавуну. При випробуваннях на втому КЧ має значно меншу чутливість до надрізів, ніж сталь, у результаті чого поверхневі дефекти практично не знижують конструкційну міцність виливків.

Таблиця 2. Механічні властивості ковкого чавуну з феритного і перлітного класів (ГОСТ 1215-79)

Марка	σ_B , МПа	δ , %	<i>HB</i> , МПа
КЧ30-6	294	6	1000-1630
КЧ35-10	343	10	1000-1630
КЧ45-7	441	7	1500-2070
КЧ50-5	490	5	1700-2300
КЧ55-4	539	4	1920-2410
КЧ60-3	588	3	2000-2690
КЧ65-3	637	3	2120-2690
КЧ70-2	686	2	2410-2850
КЧ80-1,5	784	1,5	2700-3200

При підвищених температурах опір КЧ пружним і пластичним деформаціям знижується, трохи зменшується пластичність при короткочасних випробуваннях. КЧ має меншу схильність до зростання в порівнянні зі СЧ. Випробування КЧ при підвищених температурах показують, що збільшення температури вище 670 – 720 К викликає інтенсивне падіння міцності; в атмосфері водяної пари, що є інтенсивним окиснювачем, припустима температура роботи виливків знижується до 570 К.

Високоміцний чавун з кулястим графітом

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ) випускають за ГОСТ 7293-85. Відмінною рисою ВЧКГ є досить компактна, майже куляста форма включень графіту, що має найменше відношення поверхні

до об'єму й у найменшому ступені послаблює робочий перетин вилівка. Другою відмінною рисою ВЧКГ є те, що в ньому можна в широких межах змінювати структуру металевої основи. Вибираючи відповідний склад вихідного чавуну, застосовуючи належну технологію виробництва й відповідні методи термічної обробки, можна одержувати чавун з різною структурою металевої матриці (перлітної, перліто-феритної, ферито-перлітної, феритної, сорбітної, мартенситної, аустенітної), а отже, з різними фізичними, механічними, експлуатаційними та технологічними властивостями.

Куляста форма включень графіту і можливість варіювати структуру металевої основи в широких межах дозволили надати чавуну досить гарні механічні та експлуатаційні властивості, недосяжні раніше в литому стані в жодному з існуючих видів чавуну.

ВЧКГ має високі межі міцності при розтяганні, стиску та згинанні, чітко виражену границю текучості, помітне подовження в литому стані та велике подовження після відпалу, досить високу ударну в'язкість після термічної обробки. Він також має досить задовільні ливарні властивості (гарну рідкоплинність, малу лінійну усадку, незначну схильність до утворення гарячих тріщин і т.п.), добре піддається механічній обробці, може піддаватися зварюванню, заварці ливарних дефектів, автогенному різанню і т.п. Механічні властивості ВЧКГ наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Механічні властивості високоміцного чавуну з кулькоподібним графітом (ГОСТ 7293-85)

Марка	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	<i>НВ</i> , МПа
ВЧ38-17	373	235	17	1400-1700
ВЧ42-12	412	274	12	1400-2000
ВЧ45-5	441	323	5	1600-2200
ВЧ50-7	490	343	7	1710-2410
ВЧ60-2	588	393	2	2000-2800
ВЧ70-2	686	441	2	2290-3000
ВЧ80-2	784	481	2	2500-3300
ВЧ100-2	981	686	2	2700-3600
ВЧ120-2	1177	882	2	3020-3800

Значення σ_B для ВЧКГ при перлітній структурі досягає майже 1200 МПа. Важливою особливістю ВЧКГ є рівномірність значення σ_B по висоті й перетину вилівка, що вигідно відрізняє його від чавуну із пластинчастим графітом і від сталі. Значення $\sigma_{Bст}$ становить близько 2000 МПа, тому ВЧКГ широко використовують для виготовлення деталей, що працюють на стискання. Значення σ_T досягає 600 – 1100 МПа, $\tau_{пч}$ при феритній структурі

становить близько 420 МПа й досягає 600 – 700 МПа при перлітній структурі. Характерним прикладом застосування ВЧКГ замість сталевих кувань є колінчаті вали для великих дизельних двигунів. Вони не тільки дешевше сталевих кованих, але і перевершують їх по стійкості, ВЧКГ широко застосовують для заміни сталевого лиття: маючи однакові значення σ_B , ВЧКГ має більш високі показники σ_T , що дозволяє використовувати його для виготовлення деталей відповідального призначення. В таблиці 4 приведені механічні властивості ВЧШГ ВЧ45-5 при підвищених температурах. Хімічний склад ВЧШГ визначає ГОСТ 7293-85.

Таблиця 4. Механічні властивості чавуну ВЧ45-5 в залежності від температури, МПа

Θ, K	σ_B	$\sigma_{0,2}$	σ_{10^3}	σ_{10^4}	σ_{10^5}	$\sigma_{1/\tau}=0,1$	$\sigma_{1/\tau}=0,01$
290	459	323
640	391	248	253	210	168	176	133
752	281	204	91	64	45	42	27
807	207	168	49	34	23,5	19	13
863	133	122	27,5	18,2	12,3	9,4	...
920	76	73	15,4	10	6,5

Чавун з особливими властивостями

Сучасне машинобудування вимагає використання матеріалів, що мають не тільки підвищену міцність, але й ряд спеціальних властивостей, які забезпечують довготривалу надійну роботу відливок в різних умовах експлуатації. Такими матеріалами є леговані чавуни.

По ГОСТ 7769-82 виробляються чавуни для відливок з підвищеною жаростійкістю, корозійною стійкістю, зносостійкістю або жароміцністю (табл. 5). Характеристики чавунів з особливими властивостями наведені в таблиці 6.

Таблиця 5. Класифікація і основні властивості легованих чавунів

Види	Марка	Властивості відливок
1	2	3
Силіцієві низьколеговані	ЧС5 ЧС5Ш	Жаростійкі Те ж
високолеговані	ЧС13 ЧС15 ЧС17	Корозійно-стійкі в рідкому середовищі

Продовження таблиці 5

1	2	3
Хромисті низьколеговані високолеговані	ЧХ1 ЧХ2 ЧХ3 ЧХ3Г ЧХ9Н5 ЧХ16 ЧХ16М2 ЧХ22 ЧХ28 ЧХ28Д2 ЧХ32	Жаростійкі Жаро- і зносостійкі Те ж Зносостійкі Те ж Жаро- і зносостійкі Зносостійкі Те ж Жаростійкі Зносо- і корозійно-стійкі Жаро- і зносостійкі
Силіцеві низьколеговані високолеговані	ЧС5 ЧС5Ш ЧС13 ЧС15 ЧС17	Жаростійкі Те ж Корозійно-стійкі в рідкому середовищі
Алюмінієві низьколеговані високолеговані	ЧЮХШ ЧЮ6С5 ЧЮ7Х2 ЧЮ22Ш ЧЮ30	Жаростійкі Жаро- і зносостійкі Жаро- і зносостійкі при високій температурі
Манганові високолеговані	ЧГ6С3Ш ЧГ7Х4 ЧГ8Д3	Зносостійкі Те ж Те ж, маломагнітні
Нікелеві низьколеговані високолеговані	ЧНХТ ЧНХМД ЧНМШ ЧН2Х ЧН4Х2 ЧН11Г7Ш ЧН15Д3Ш ЧН15Д7 ЧН19Х3Ш ЧН20Д2Ш	Корозійно-стійкі в газових середовищах двигунів внут. сгорян. Зносостікі Те ж Жаростійкі і маломагнітні Зносостійкі в двигунах Жароміцні і маломагнітні Жароміцні, холодостійкі, маломагнітні

Таблиця 6. Механічні властивості легованих чавунів із спеціальними властивостями (ГОСТ 7769-82)

Марка	σ_B , МПа	$\sigma_{Bи}$, МПа	<i>HB</i> , МПа
ЧХ1	170	350	2030-2800
ЧХ2	150	310	2030-2800
ЧХ3	150	310	2230-3560
ЧХ3Т	200	400	4400-5860
ЧХ9Н5	350	700	4900-6070
ЧС5	150	290	1400-2940
ЧС17	40	140	3900-4500
ЧЮХШ	390	590	1830-3560
ЧЮ7Х2	120	170	2540-2940
ЧГ7Х4	150	330	4900-5860
ЧНХТ	280	430	1960-2800
ЧН4Х2	200	400	4600-6450
ЧН15Д7	150	350	1200-2500
ЧН20Д2Ш	500	...	1200-2200

Висновки:

Механічні властивості чавуну за різного ступеня графітизації при підвищених температурах залежать від часу, протягом якого діють навантаження. Швидкість повзучості різко зростає з температурою й напруженням, причому перший фактор діє сильніше другого.

Сірий чавун широко застосовується у верстатобудуванні, в авто-тракторобудуванні, у хімічному машинобудуванні, електромашинобудуванні.

КЧ задовільно працює при знижених температурах, але має в порівнянні з СЧ збільшену схильність до крихкого динамічного руйнування. КЧ використовують головним чином для одержання тонкостінного лиття (товщина стінок 3 – 40 мм). Тривала міцність КЧ при 570 – 670 К невелика й різко знижується при подальшому підвищенні температури. КЧ як конструкційний матеріал широко застосовують у різних галузях машинобудування завдяки гарним фізико-механічним властивостям виливків, нескладної та стабільної технології їхнього виробництва і більше низької вартості кування і штампування в порівнянні з виливками зі сталі. Основними споживачами виливків із КЧ є авто- і тракторобудування, сільгоспмашинобудування.

ВЧКГ знаходить застосування в промисловості як заміник вуглецевої сталі і як перспективний конструкційний матеріал. Важливою особливістю ВЧКГ є те, що він застосовується для виготовлення і дрібних деталей (наприклад, поршневих кілець), і досить великих деталей масою

до 150 т в одному виливку; товстостінних деталей (до 1000 мм) і деталей з товщиною стінки 3 – 5 мм. Деталі можуть застосовуватися в литому стані й після термічної обробки.

Література

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф.Чернеги, Ю.Я.Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
2. [http: www.istil.com.ua](http://www.istil.com.ua). Каталог продукції
3. [http: www.ilyich.ua](http://www.ilyich.ua). Каталог продукції
4. [http: www.dmz.com.ua](http://www.dmz.com.ua). Каталог продукції
5. Структуры и свойства металлов и сплавов. Механические свойства металлов и сплавов: Справочник/Л.В.Тихонов, В.А.Кононенко, Г.И.Прокопенко, В.А.Рафаловский. – К.: Наукова думка, 1986. – 580 с.