

**АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ДО ЧАВУНІВ ДЛЯ ФРИКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**К.І. Узлов, д. т. н.**

*Національна металургійна академія України*

В роботі був реалізований аналіз альтернативних марок чавунних відливків з урахуванням вимог до ливарних процесів [1], до виливків з чавуну [2] та до структурних особливостей з точок зору форми графітних включень та типу металевої матриці [3].

Нормативними характеристиками для чавунів, цільовим способом призначених для фрикційного використання, є такі [4] - хімічний склад, структурний стан, характеристики твердості. Згідно з вимогами ГОСТ 1585-85, цей нормативний документ розповсюджується на відливки, які працюють у вузлах тертя з мастилом. Таке не завжди можливо у випадку об'єктів, які працюють у візках залізничного призначення, тобто в умовах сухого тертя метал-метал з фрикційними домішками природного походження між поверхнями.

Таблиця 1 - Норми твердості антифрикційних чавунів за ГОСТ 1585-85

Марка чавуну	Твердість по Бринелло (НВ)	Марка чавуну	Твердість по Бринелло (НВ)
АЧС-1	180-241	АЧС-6	100-120
АЧС-2	180-229	АЧВ-1	210-260
АЧС-3	160-190	АЧВ-2	167-197
АЧС-4	180-229	АЧК-1	187-229
АЧС-5	180-290	АЧК-2	167-197

Таблиця 1 демонструє той факт, що жоден із цих чавунів не має твердості, вищої за 300НВ, а деякі з них характеризуються твердістю навіть нижчою за 200НВ.

Цей клас чавунів характеризується не тільки незадовільним рівнем твердості, але й дуже низьким рівнем інших механічних властивостей, що і відображає ГОСТ 1585-85, який їх навіть не нормує. Саме тому «Додаток 1» до ГОСТ 1585-85 встановлює для всіх без виключення марок антифрикційних чавунів тільки одну галузь застосування - у вузлах тертя в парі із валом.

Стандарт на чавуни леговані спеціального призначення [5] охоплює широкий спектр спеціальних чавунів з підвищеними жаростійкістю, жароміцністю, корозійною стійкістю і, в тому числі, зносостійкістю.

Серед наведених в таблиці 2 сплавів, п'ятнадцять рекомендовані як стійкі проти зносу. Серед них майже половина (сім) це чавуни, в яких основним легуючим елементом є хром, кількість якого коливається в межах 3...32%. Показово, що п'ять нікелевих чавунів, які рекомендовані у якості зносостійких, також леговані хромом у кількості 1...2%. І це зрозуміло, тому що цей елемент

## Стародубовские чтения - 2014

в залізвуглецевих сплавах сприяє формуванню супертвердих карбідів  $Me_3C$ ,  $Me_7C_3$ ,  $Me_{23}C_6$  як ледебуритного так і евтектоїдного походження. Так, наприклад, високолегований хромистий чавун ЧХ28Д2 з вмістом хрому 25...30% демонструє гарантовану твердість аж до 640НВ (табл. 2).

Таблиця 2 - Механічні властивості легованих чавунів за ГОСТ 7769-82

Марка чавуну	Межа міцності, МПа, не менше		Відносне видовження $\delta$ , %	Твердість, НВ	Марка чавуну	Межа міцності, МПа, не менше		Відносне видовження $\delta$ , %	Твердість, НВ
	Розтягу $\sigma_B$	Згину $\sigma_{0.2}$				Розтягу $\sigma_B$	Згину $\sigma_{0.2}$		
ЧХ1	170	350	-	207-286	ЧЮХШ	390	590	-	187-364
ЧХ2	150	310	-	207-286	ЧЮ6С5	120	240	-	235-300
ЧХ3	150	310	-	228-364	ЧЮ7Х2	120	170	-	240-286
ЧХ3Т	200	400	-	440-590	ЧЮ22Ш	290	390	-	241-364
ЧХ9Н5	350	700	-	490-610	ЧЮ30	200	350	-	364-550
ЧХ16	350	700	-	400-450	ЧГ6С3Ш	490	680	-	219-259
ЧХ16М2	170	490	-	490-610	ЧГ7Х4	150	330	-	390-450
ЧХ22	290	540	-	330-610	ЧГ8Д3	150	330	-	176-285
ЧХ22С	290	540	-	215-340	ЧНХТ	280	430	-	201-286
ЧХ28	370	560	-	215-270	ЧНХМД	290	690	-	201-286
ЧХ28П	200	400	-	245-390	ЧНХМДШ	600	-	-	270-320
ЧХ28Д2	390	690	-	390-640	ЧНМШ	490	-	2	183-286
ЧХ32	290	490	-	245-340	ЧН2Х	290	490	-	215-280
ЧС5	150	290	-	140-300	ЧН3ХМДШ	550	-	-	350-550
ЧС5Ш	290	-	-	228-300	ЧН4Х2	200	400	-	400-650
ЧС13	100	210	-	290-390	ЧН11Г7Ш	390	-	4	120-255
ЧС15	60	170	-	290-390	ЧН15Д7	150	350	-	120-297
ЧС17	40	140	-	390-450	ЧН15Д3Ш	340	-	4	120-255
ЧС15М4	60	140	-	390-450	ЧН19Х3Ш	340	-	4	120-255
ЧС17М3	60	100	-	390-450	ЧН20Д2Ш	500	-	25	120-220

Решта цих чавунів забезпечують зносостійкість при однофазній структурі матриці, сформованій за рахунок високого вмісту  $\alpha$ -стабілізаторів - Al (ЧЮ30, вміст Al=29...31%) або  $\gamma$ -стабілізаторів - Ni (ЧН15Д7, вміст Ni=14...16%) та Mn (ЧГ8Д3, вміст Mn=7...9%). Принцип підвищення зносостійкості таких сплавів з однофазною матрицею той самий, що і у сталей Гатфілда, тобто наклеп однофазної структури матриці на поверхні у ході фрикційної взаємодії у сукупності з евтектичною карбідною фазою або без неї.

Як і у випадку антифрикційних чавунів, ГОСТ 7769-82 не нормує відносного видовження та ударної в'язкості для жодної марки, що розглядається у якості зносостійкої (табл. 2). Пов'язане це з їх крихкістю при динамічних та статичних навантаженнях.

## Строительство, материаловедение, машиностроение

Перспективними, на думку автора, з точки зору оптимального сполучення зносостійкості з в'язкими характеристиками є чавуни з кулястим графітом після аустемперингу. Дійсно, серед всіх розглянутих, стандарт ДСТУ 3925-99 [6] є єдиним, що регламентує не тільки відносне видовження виробів, але для однієї марки і ударну в'язкість (для ВЧ 350-22 КСУ<sub>+20°C</sub> = 190кДж/м<sup>2</sup>).

Бейнітні чавуни з кулястим графітом (БЧКГ) марок ВЧ 100-4 та ВЧ 120-4 з твердістю до 370НВ у сполученні з відносним видовженням  $\geq 4\%$  і ударною в'язкістю  $\geq 3,0$  кгс $\times$ м/см<sup>2</sup>, які були нормованими ГОСТ 7293-70 (табл. 3), із відповідного наступного стандарту 1985 року [7] були вилучені (табл. 4). Не виправив цієї ситуації і національний стандарт ДСТУ 3925-99 [6].

Таблиця 3 - Механічні властивості ЧКГ за ГОСТ 7293-70

Марка чавуну	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	Ударна в'язкість $a_H$ , кгс $\times$ м/см <sup>2</sup>	Твердість НВ
	Не менше				
ВЧ 38-17	38	24	17	6,0	140-170
ВЧ 42-12	42	28	12	4,0	140-200
ВЧ 45-5	45	33	5	3,0	160-220
ВЧ 50-2	50	38	2	2,0	180-260
ВЧ 60-2	60	40	2	2,0	200-280
ВЧ 70-3	70	40	3	3,0	229-275
ВЧ 80-3	80	50	3	2,0	220-300
ВЧ 100-4	100	70	4	3,0	302-369
ВЧ 120-4	120	90	4	3,0	302-369

Таблиця 4 – Механічні властивості ЧКГ за ГОСТ 7293-85

Марка чавуну	$\sigma_B$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	$\sigma_{0,2}$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Відносне видовження $\delta$ , %	Твердість, НВ
	Не менше			
ВЧ 35	350 (35)	220 (22)	22	140-170
ВЧ 40	400 (40)	250 (25)	15	140-202
ВЧ 45	450 (45)	310 (31)	10	140-225
ВЧ 50	500 (50)	320 (32)	7	153-245
ВЧ 60	600 (60)	370 (37)	3	192-277
ВЧ 70	700 (70)	420 (42)	2	228-302
ВЧ 80	800 (80)	480 (48)	2	248-351
ВЧ 100	1000 (100)	700 (70)	2	270-360

Механічні властивості БЧКГ за ASTM: A897M-90 [8] наведені в таблиці 5. Аналіз таблиці 5 свідчить про те, що три з п'яти передумовлених марок чавуну мають твердість більшу за 360НВ аж до 555НВ. Тобто більше половини чавунів цього класу за вимогами ASTM: A897M-90 мають твердість вищу за найвищий ліміт цієї характеристики, встановлений ДСТУ 3925-99. При цьому

## Стародубовские чтения - 2014

звертає на себе увагу той факт, що БЧКГ ADI 1050/700/7 при нормованій ASTM: A897M-90 твердості до 363НВ, на відміну від ДСТУ 3925-99, має водночас відносно видовження 7% проти 2% для ВЧ 1000-2 за ДСТУ 3925-99. Таке сполучення властивостей забезпечується бейнітною структурою матриці (ADI 1050/700/7 – табл. 5).

Таблиця 5 - Механічні властивості БЧКГ за ASTM: A897M-90

Властивості	Марка чавуну				
	850/550/10	1050/700/7	1200/850/4	1400/1100/1	1600/1300/-
Межа міцності (min), МПа	850	1050	1200	1400	1600
Границя плинності (min), МПа	550	700	850	1100	1300
Видовження $\delta_s$ , (min), %	10	7	4	1	не нормується
Енергія удару, Дж	100	80	60	35	не нормується
Твердість, НВ	269-321	302-363	341-444	388-477	444-555

Європейський стандарт DIN EN 1564:1997 [9] також встановлює вимоги до БЧКГ чотирьох марок. Механічні властивості БЧКГ за DIN EN 1564:1997 наведені в таблиці 6. Дані таблиці 6 свідчать про те, що і в цьому випадку, завдяки ізотермічному гартуванню БЧКГ, твердості виробу 360НВ відповідає відносно видовження min 5%, на відміну від вимог ДСТУ 3925-99.

Таблиця 6 - Механічні властивості БЧКГ за DIN EN 1564:1997

Марка чавуну	Межа міцності, МПа	Межа плинності, МПа	Відносно подовження, %	Твердість, НВ
	Не менше			
EN-GJS-800-8	800	500	8	260-320
EN-GJS-1000-5	1000	700	5	300-360
EN-GJS-1200-2	1200	850	2	340-440
EN-GJS-1400-1	1400	1100	1	380-480

З метою нормативного забезпечення розробки та промислового впровадження БЧКГ на підприємствах України, були розроблені ТУ У 27.1-23365425-604:2006 (табл. 7, [10]).

## Строительство, материаловедение, машиностроение

Таблиця 7 - Механічні властивості БЧКГ за ТУ У 27.1-23365425-604:2006

Марка чавуну	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердість, НВ
	не менш				
БЧКГ 800-7	800	500	7,0	8,0	240
БЧКГ 1300-2	1300	1100	2,0	2,0	390

Аналіз даних таблиці 7 свідчить про те, що виробництво фрикційних елементів залізничного призначення за національними ТУ У 27.1-23365425-604:2006 дозволяє гарантовано забезпечити одержання деталей з високими конструкційною міцністю, твердістю, зносостійкістю, які не поступаються за властивостями рівню вимог закордонних стандартів [8, 9].

### Висновки

1. В роботі проведений аналіз нормативних вимог до механічних характеристик чавунів антифрикційних, легованих зі спеціальними властивостями, з кулястим графітом, в тому числі термозмішених методом ізотермічного гартування.
2. За результатами аналізу встановлено, що найбільш доцільним матеріалом для виготовлення фрикційних елементів залізничного призначення з точки зору сукупності показників конструкційної міцності, зносостійкості та експлуатаційної надійності є чавун з кулястим графітом та матрицею змішеною методом аустемперингу.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ НОРМАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3132-95 «Чавун ливарний. Технічні умови»
2. ГОСТ 26358-84 «Отливки из чугуна. Общие технические условия»
3. ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита»
4. ГОСТ 1585-85 «Чугун антифрикционный для отливок. Марки»
5. ГОСТ 7769-82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки».
6. ДСТУ 3925-99 «Чавун с кулястим графітом для виливків. Марки»
7. ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки»
8. ASTM:A897M-90 «Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings»
9. DIN EN 1564:1997 «Austempered Ductile Cast Iron»
10. ТУ У 27.1-23365425-604:2006 «Чавун з кулястим графітом ізотермічно змішеним методом аустемперингу для виливків»