

УДК 669.18 (075.8)

## СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

*В.С.Богушевський, О.М.Меженський, Ю.І.Сирбу*

*Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

*Наведені галузі застосування, хімічний склад і механічні властивості низьколегованої сталі.*

*Приведены области применения, химический состав и механические свойства низколегированной стали.*

*It is given the fields of application, chemical composition and mechanical properties of low-alloy steel.*

### **Вступ**

Низьколеговані сталі вміщують до 0,2 % вуглецю й 2 – 3 % недефіцитних легуючих елементів. Економічно вигідні, у порівнянні з вуглецевими сталями мають такі переваги: більш висока межа текучості, що дозволяє знизити витрату метала на 15 – 40 %; знижену схильність до механічного старіння; можливість експлуатації при низьких температурах, після загартування і відпуску характеризуються підвищеною міцністю і в'язкістю й мінімальною чутливістю до надрізання; кращою корозійною стійкістю й зносостійкістю; гарною зварюваністю й низьким порогом холодноламкості при достатній ударній в'язкості (~ 300 кДж/м<sup>2</sup>).

Низьколегована товстолистова, широкострічкова універсальна і рулонна сталь використовується в будівництві і машинобудуванні для зварних металевих конструкцій і виробів в основному без додаткової термічної обробки. Виробляється по ГОСТ 19282-89.

### **Хімічний склад низьколегованої сталі**

Хімічний склад сталі обумовлюється ДСТУ 10884-94, 3760-98, 3694-98, 10543-98 (табл. 1). В позначенні марок сталі цифри і літери означають: цифри ліворуч – приблизний середній вміст вуглецю у сотих долях відсотка, літери праворуч від цифр: Г – манган, С – силіцій, Х – хром, М – молібден, Н – нікель, Д – мідь, В – вольфрам; Ф – ванадій, Т – титан, Б – ніобій, Р – бор, Е – селен, К – кобальт, Ц – цирконій, А – азот, П – фосфор, Ю – алюміній; цифри після букв – приблизний масовий вміст

відповідного елемента в цілих відсотках; літери „пс” у кінці марки – напівспокійна сталь.

Таблиця 1. Хімічний склад низьколегованих сталей, що виплавляються на ВАТ «МК „Азовсталь”»

Марка сталі	Масова частка, %				
	C	Mn	Si	S не більше	P не більше
09Г2	≤ 0,12	1,40-1,80	0,17-0,37	0,04	0,035
09Г2С	≤ 0,12	1,30-1,70	0,50-0,80	0,04	0,035
27ГС	0,24-0,30	0,90-1,30	1,00-1,50	0,045	0,045
20ГС	0,17-0,22	1,00-1,50	1,00-1,50	0,04	0,04
25Г2С	0,20-0,29	1,20-1,60	0,60-0,90	0,045	0,04
35ГС	0,30-0,37	0,80-1,20	0,60-0,90	0,045	0,04
30ГС	0,25-0,35	0,90-1,40	0,60-0,90	0,045	0,04
50Г	0,48-0,56	0,70-1,00	0,17-0,37	0,035	0,035
Ст3ТРпс	0,17-0,22	0,50-0,90	≤ 0,10	0,045	0,04
Ст3ГТРпс	0,17-0,22	0,80-1,20	0,03-0,07	0,045	0,04
25Г2С	0,20-0,25	1,00-1,40	0,15-0,35	0,045	0,04
40Х	0,36-0,44	0,50-0,80	≤ 0,20	0,035	0,035
20Х	0,17-0,23	0,35-0,60	0,17-0,30	0,035	0,035
23Г2А	0,20-0,22	1,10-1,40	0,12-0,27	0,025	0,025
23ХГА	0,20-0,26	1,10-1,40	0,12-0,27	0,025	0,025
26ХГА	0,23-0,29	1,10-1,40	0,12-0,27	0,025	0,025
30ХГСА	0,28-0,34	0,80-1,10	0,90-1,20	0,025	0,025
Св-08Г2С	0,05-0,11	1,80-2,10	0,60-0,85	0,025	0,03
Св-08ГС	≤ 0,10	1,40-1,70	0,70-0,95	0,04	0,04
Св-08ГА	≤ 0,10	0,80-1,10	≤ 0,06	0,025	0,03

Вміст сірки й фосфору в низьколегованих сталях не перевищує 0,045 %, у т.ч. у якісних (літера А в кінці марки) 0,025 %. Діапазон вмісту вуглецю в марці не перевищує 0,08 %. У деяких марках сталі обмежується вміст силіцію (Ст3ТРпс, Св-08ГА, 40Х). Вміст мангану коливається в широкому діапазоні в залежності від марки сталі (0,35 – 0,60 для 40Х; 1,80 – 2,10 для марки Св-08Г2С).

## Механічні властивості низьколегованої сталі

Механічні властивості низьколегованих сталей наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Механічні властивості низьколегованої товстолистової і широкострічкової сталі (ГОСТ 19281-89, ГОСТ 19282-89)

Марка сталі	Товщина, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup> , при температурі (Θ), К		
					290	230	200
09Г2 09Г2Д	4	450	310	21	...	...	...
	5-9	450	310	21	...	350	300
	10-20	450	310	21	...	300	300
	21-32	450	300	21	...	400	...
09Г2С 09Г2СД	4	500	350	21	...	...	...
	5-9	500	350	21	650	400	350
	10-20	480	330	21	600	350	300
	21-32	470	310	21	600	350	300
14Г2	4	470	340	21	...	...	...
	5-9	470	340	21	...	350	350
	10-20	460	330	21	...	300	300
	21-32	460	330	21	...	300	...
16ГС	4	500	330	21	...	...	...
	5-9	500	330	21	600	400	300
	10-20	490	320	21	600	300	250
	21-32	480	300	21	...	400	...
15ГФ 15ГФД	4	520	380	21	...	...	...
	5-9	520	380	21	...	400	...
	10-20	520	360	21	...	300	...
	21-32	480	340	21	...	300	...
14Г2АФ 14Г2АФД	4	550	400	20	...	...	...
	5-9	550	400	20	...	450	350
	10-32	550	400	20	...	400	300
	33-50	550	400	20	...	400	300
10Г2Б 10Г2БД	4	520	380	21	...	...	...
	5-9	520	380	21	...	400	...
	10-20	520	380	21	...	300	...
14ХГС	4	500	350	22	...	...	...
	5-9	500	350	22	...	400	...
	10-20	500	350	22	...	350	...
15ХСНД	4	500	350	21	...	...	...
	5-9	500	350	21	...	400	300
	10-20	500	350	21	...	300	300

Аналіз властивостей показує, що зі збільшенням вмісту вуглецю збільшується межа міцності при розтягуванні (тимчасовий опір розриву)  $\sigma_B$  і межа текучості при розтягуванні  $\sigma_T$ , відносно подовження при розриванні  $\delta$  майже не змінюється. Така ж тенденція спостерігається при збільшенні вмісту силіцію, азоту й ванадію. При збільшенні товщини прокату для деяких марок сталі  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$  зменшуються (09Г2С, 09Г2СД, 14Г2, 16ГС, 15ГФ, 15ГФД), а для деяких залишаються незмінними (09Г2, 09Г2Д, 14Г2АФ, 14Г2АФД, 10Г2Б, 10Г2БД, 14ХГС, 15ХСНД). Ударна в'язкість  $a_n$  зменшується зі зменшенням температури й збільшенням товщини прокату.

Після загартування і відпуску  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$  зростають (табл. 3), а  $\delta$  дещо зменшується,  $a_n$  зростає для температур 230 К і майже не змінюється для температур 200 К.

Таблиця 3. Механічні властивості низьколегованої сталі після загартування і відпуску (ГОСТ 10282-73)

Марка	Товщина, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup> , при $\Theta$ , К	
					230	200
09Г2С	10-32	500	370	19	500	300
09Г2СД	33-60	460	320	21	500	300
14Г2	10-32	540	400	19	500	300
15Г2СФ	10-32	600	450	17	400	300

Механічні властивості низьколегованих сталей залежать від температури (табл. 4). При підвищенні температури вище 290 К (марка 09Г2Д)  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$  зменшуються, а  $\delta$  і  $\phi$  зростають. На характеристиках  $\delta$  і  $\phi$  спостерігаються локальні мінімуми для  $\delta$  при 720 К і  $\phi$  при 570 К.

Таблиця 4. Механічні властивості низьколегованої сталі в залежності від температури

Марка	$\Theta$ , К	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\phi$ , %
09Г2Д	290	502	200	27	51
	570	460	232	29	48
	720	380	198	26	63,2
	820	260	140	37	68
14Г2	290	548	350	24,5	61,3
	230	662	395	28,3	64,3
	200	645	445	31,0	59,5
	77	899	878	5,0	5,7

При зниженні температури нижче 290 К (марка 14Г2)  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$  і  $\varphi$  збільшуються, причому у двох останніх спостерігається локальний оптимум при 200 К.

Сталі 09Г2С й 16ГС до температури 770 К не схильні до теплової крихкості й не втрачають міцності внаслідок тривалого старіння (табл. 5).

Таблиця 5. Механічні властивості сталі до і після старіння (4000 год)

Марка	Температура старіння	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\varphi$ , %
09Г2С	Без старіння	455	282	28,5	65,0
	720	447	289	27,9	68,3
	770	443	282	29,2	69,2
16ГС	Без старіння	471	268	26,0	49,8
	720	456	274	27,6	56,7
	770	455	245	27,2	56,3

Сталь низьколегована сортова (кругла, квадратна і стрічкова) й фасонна, використовується у будівництві, машинобудівництві для зварних металевих конструкцій і у виробках в основному без додаткової механічної обробки відповідає ГОСТ 19281-89, хімічний склад визначається цим же ГОСТом. Механічні властивості подібні механічним властивостям товстолистової, широкострічкової і рулонної низьколегрованої сталі.

Сталі 09Г2, 09Г2С, 09Г2Д, 10Г2С1Д і 10ХСНД (товстолистові, тонколистові, широкострічкові й фасонні) випускаються по ГОСТ 5521-75 й призначаються для виготовлення корпусів та інших зварних конструкцій кораблів.

Сталь гарячекатана кругла гладкого і періодичного профілю, що виробляється по ГОСТ 5781-82, призначена для армування звичайних і наперед напружених залізобетонних конструкцій. Класифікація, сортамент і механічні властивості арматурної сталі наведено таблиці 6.

Сталі 14Г2АФ(Д), 16Г2АФ(Д), 18Г2АФДпс, 15Г2СФ(Д), 15Г2АФДпс, 15ГФ, 12Г2СМФ, 12ГН2МФАЮ, 12ХГН2МФБАЮ, що використовуються при будівництві мостів, металоконструкцій цехів, кранів, доменних печей і ємностей нафтозберігачів, проходять карбонітридне зміцнення. Розроблені основні марки з карбонітридним зміцненням трьох категорій міцності: 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФ. Ці сталі після нормалізації мають межу текучості відповідно 400, 450 і 500 МПа.

Дві марки сталі, що нелеговані азотом і зміцнюються тільки ванадієм (15ГФ і 15Г2СФ), мають  $\sigma_T$  в гарячекатаному стані відповідно 360 і 400 МПа. У термічно покращених високоміцних сталях 12Г2СМФ і 12ГН2МФАЮ  $\sigma_T = 600$  МПа, а в сталі 12ХГН2МФБАЮ  $\sigma_T = 750$  МПа.

Таблиця 6. Механічні властивості низьколегованої арматурної сталі (ГОСТ 5781-82)

Клас	Марка	Діаметр, мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %
A-II	18Г2С	40-80	490	294	19
Ac-II	10ГТ	10-32	441	294	25
A-III	35ГС, 25Г2С, 32Г2Р	6-40	590	392	14
A-IV	80С	10-18	883	590	6
A-V	23Х2Г2Т	10-32	1030	785	7
A-VI	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р	10-22	1230	980	6

На основі метода карбонітридного зміцнення вперше у вітчизняній практиці створена група високоміцних сталей для зварних конструкцій відповідального призначення, що можна використовувати при температурах нижче 230 К, при цьому гарантується достатня ударна в'язкість при 200 К. Подальше підвищення характеристик в'язкості сталі з нітридами ванадію забезпечується обробкою металу рідким синтетичним шлаком або електрошлаковою переплавою. Сталь 16Г2АФ має при температурі 210 К  $a_n = 1400$  кДж/м<sup>2</sup>, після ЕШП –  $a_n = 1830$  кДж/м<sup>2</sup>.

### Висновки

1. Низьколегована товстолистова, широкострічкова універсальна і рулонна сталь використовується в будівництві і машинобудуванні для зварних металевих конструкцій і виробів в основному без додаткової термічної обробки.

2. Механічні властивості низьколегованих сталей залежать від температури. При підвищенні температури вище 290 К (марка 09Г2Д)  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$  зменшуються, а  $\delta$  і  $\phi$  зростають. На характеристиках  $\delta$  і  $\phi$  спостерігаються локальні мінімуми для  $\delta$  при 720 К і  $\phi$  при 570 К.

### 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>. Каталог продукції
3. <http://www.ilyich.ua>. Каталог продукції
4. <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.
6. Новейшая технология производства горячекатанной полосы / В.Балод, Г.Кнеппе, Д.Розенталь, П.Зудай // Черные металлы, 2000, № 2. – С. 23 – 26.