

УДК 669(075.8)

## СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ЗВИЧАЙНОЇ ЯКОСТІ

*В. С. Богушевський, О. О. Клименко*

*Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

*Наведені галузі застосування, структура, хімічний склад і механічні властивості вуглецевих сталей звичайної якості.*

*Приведены области применения, структура, химический состав и механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества.*

*It is given the fields of application, structure, chemical composition and mechanical properties of carbon steels common quality.*

### **Вступ**

Вуглецеві сталі класифікують по структурі, способу виробництва і розкислення, якості [1].

За структурою розрізняють: доєвтектоїдну сталь, що вміщує до 0,8 мас.% С, структура якої складається із фериту і перліту; евтектоїдну, що вміщує біля 0,8 мас.% С, структура якої складається тільки з перліту; заєвтектоїдну, що вміщує 0,8 – 2,14 мас.% С, структура якої складається із зерен перліту, з каймою із сітки цементиту.

За способом виробництва розрізняють сталі, що виплавлені в електродних, мартенівських печах і кисневих конвертерах.

За способом розкиснення розрізняють киплячі, напівспокійні і спокійні сталі.

Кипляча сталь – найбільш дешева, так як при її виплавці витрачається мінімальна кількість спеціальних домішок і забезпечується максимальний вихід придатного продукту. Знижений вміст силіцію і мангану обумовлює меншу міцність і більшу пластичність, ніж у спокійної сталі. Недоліком киплячої сталі є розвинута ліквация, в головній частині зливку неоднорідність вмісту вуглецю досягає 400 %, сірки – 900 % від середнього вмісту. В спокійній сталі неоднорідність вмісту вуглецю лише на 60 %, а по сірці на 110 % вища їх середнього вмісту в сталі. Прокат із киплячої сталі більш неоднорідний по хімічному складу, ніж прокат із спокійної сталі. Листи і профілі, що виготовлені із різних частин зливка,

розрізняються по вмісту вуглецю, сірки і фосфору. Тому прокат із киплячої сталі характеризується неоднорідністю структури і механічних властивостей навіть для металу однієї плавки. У середньому кипляча сталь вміщує біля 0,02 мас.% кисню, що у декілька раз вище, ніж у спокійної сталі. Холодостійкість киплячої сталі нижча (в середньому  $T_{50}$  у неї на 10 – 20 К вище у порівнянні із спокійною сталлю). Знижений опір крихкому руйнуванню особливо характерний для прокату значної товщини (14 – 20 мм і більше).

Спокійна сталь більш однорідна за хімічним складом, ніж кипляча. Завдяки присутності в спокійній сталі залишкового алюмінію у неї нижче схильність до зростання зерна, ніж у киплячої сталі. Тому міцність і холодостійкість більш однорідного мілко зернистого прокату із спокійної сталі вище, ніж у прокату із киплячої сталі.

При затвердінні спокійної сталі у виливницях утворюється велика усадкова раковина, для видалення якої зливок обрізають (12 – 16 % по масі). Внаслідок цих втрат, а також додаткових витрат на феросплави і алюміній для розкиснення, спокійна сталь дорожча киплячої.

Напівспокійна сталь на відміну від киплячої оброблюється перед розливанням невеликою кількістю розкиснювачів. За однорідністю хімічного складу, мікроструктури і механічних властивостей, по опору крихкому руйнуванню і міцносним показникам прокат із напівспокійної сталі займає проміжне становище між прокатом із киплячої і спокійної сталі.

Вихід придатного найбільш високий для киплячої сталі – 95 %. Для напівспокійної сталі, що розкиснюється манганом і силіцієм він дорівнює 90 %, для спокійної сталі, що розкиснюється манганом, силіцієм і алюмінієм – біля 85 %.

За якістю розрізняють сталі звичайної якості і якісні.

### **Хімічний склад вуглецевих сталей звичайної якості**

Вуглецева сталь звичайної якості широко використовується в будівництві, ряд марок сталей застосовується для виготовлення деталей в машинобудуванні. Сталь виготовляють гарячекатану-сортову, фасонну, товсто- і тонколистову, широкострічкову і холоднокатану тонколистову; із сталі виготовляють труби, поковки, штамповки, дрід і металовироби [2, 3, 4].

Сталь виготовляють по ДСТУ 2651 і ГОСТ 380-74. Позначають вуглецеві сталі звичайної якості буквами „Ст” і цифрами від 0 до 6. Вуглецеві сталі звичайної якості вміщують до, мас.%: 0,49 С; 0,05 S; 0,04 Р; 0,08 As; 0,3 Cu; 0,3 Ni. В сталях, що виплавлені з керченської руди допускається вміст елементів до, мас.%: 0,15 As; 0,010 N. В сталі Ст0

обмежують тільки вміст вуглецю (до 0,23 мас.%), сірки і фосфору, не висувають спеціальних вимог до технології виплавки, нормують тільки тимчасовий опір розриву  $\sigma_B \geq 300$  МПа.

За призначенням сталь поділяють на три групи: А – за механічними властивостями; Б – за хімічним складом; В – за механічними властивостями та хімічним складом.

Сталі виготовляють наступних марок: група А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; група Б – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6; група В – ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5. Хімічний склад сталей повинен відповідати нормам таблиці 1.

**Таблиця 1.** Хімічний склад вуглецевих сталей звичайної якості

Марка сталі	Масова частка, %		
	C	Mn	Si
Ст0	$\leq 0,23$	...	...
Ст1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	$\leq 0,07$
Ст1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	0,12-0,30
Ст2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	$\leq 0,07$
Ст2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	0,12-0,30
Ст3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	$\leq 0,07$
Ст3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30
Ст4кп	0,18-0,27	0,40-0,65	$\leq 0,07$
Ст4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	0,12-0,30
Ст5пс	0,28-0,37	0,40-0,70	0,05-0,17
Ст5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35
Ст6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	0,05-0,17
Ст6сп	0,38-0,49	0,50-0,80	0,15-0,35

Сталь всіх груп з номерами марок 1, 2, 3, 4 (вміст вуглецю до 0,27 %) виготовляють киплячою, напівспокійною та спокійною; з номерами 5 і 6 – напівспокійною та спокійною. Напівспокійна сталь з номерами 1 – 5 виробляється як зі звичайним, так із підвищеним вмістом мангану 0,8 – 1,10 % (в сталі Ст5Гпс вміст мангану може бути до 1,2 %). В напівспокійних сталях з підвищеним вмістом мангану до позначення марки сталі, після номера марки, ставлять букву Г, наприклад: Ст3Гпс, ВСт3Гпс.

В залежності від умов експлуатації виробів і споруд показники властивостей сталей визначають у різному об'ємі. Відповідно прокат із вуглецевих сталей звичайної якості поділяють на 5 категорій. Обов'язковими для всіх категорій є іспити на розтягування ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ ) і на згинання. Хімічний склад визначають для 2-ї, 3-ї, 4-ї та 5-ї категорій. Ударну в'язкість КСЧ визначають при 20 °С (3-я категорія), – 20°С (4-а категорія) і при – 20 °С після механічного старіння (5-а категорія).

Для позначення категорії сталі до марки праворуч додають номер відповідної категорії, наприклад: Ст3пс2, БСт3кп2, ВСт4пс2.

**Механічні властивості вуглецевих сталей звичайної якості**

Механічні властивості сталей по ГОСТ 380-94 наведені в табл. 2 та 3.

**Таблиця 2.** Механічні властивості вуглецевої сталі звичайної якості [5]

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_B$ , %
Ст0	$\geq 310$	...	20 – 23
Ст1кп	310 – 400	...	32 – 35
Ст1пс	320 – 420	190 – 220	30 – 33
Ст1сп	320 – 420	190 – 220	30 – 33
Ст1Гпс	320 – 430	190 – 220	31 – 34
...	...	...	...
Ст6пс	>600	300 – 320	12 – 15
Ст6сп	$\geq 600$	300 – 320	12 – 15

**Таблиця 3.** Механічні властивості прокату (не менше) із вуглецевих сталей звичайної якості

Марка сталі	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа, при товщині прокату, мм					$\delta_B$ , %, при товщині прокату, мм		
		< 10	10-20	20-40	40-100	> 100	$\leq 20$	20-40	> 40
Ст0	$\geq 300$	...	...	...	...	...	18	18	15
Ст3кп	360-460	235	235	225	215	185	27	26	24
Ст3пс	370-480	245	245	235	225	205	26	25	23
Ст3сп	380-490	255	245	235	225	205	25	25	22
Ст4кп	400-510	255	255	245	235	225	25	24	22
Ст4пс Ст4сп	410-530	265	265	255	245	235	24	23	21
Ст5пс	490-630	285	285	275	265	255	20	19	17
Ст5сп	490-630	295	285	275	265	255	20	19	17
Ст6пс Ст6сп	$\geq 590$	315	315	315	295	295	15	14	12

Примітка: Для Ст3сп  $\sigma_B = 380-410$  МПа при товщині прокату до 10 мм і 370-490 при товщині прокату більше 10 мм. Допускається зменшення відносного подовження для фасонного прокату всіх товщин на 1 %.

Межа міцності ( $\sigma_B$ , МПа) збільшується з підвищенням вмісту вуглецю від 310 – 400 (сталь Ст1кп) до >600 МПа (Ст6пс), межа текучості ( $\sigma_T$ , МПа) від 190 – 220 (сталь Ст1пс) до 300 – 320 МПа (Ст6пс), відносне подовження ( $\delta_B$ , %) зменшується від 32 – 35 (сталь Ст1кп) до 12 – 15 % (Ст6пс). При переході від кп, пс, сп – спостерігається незначне збільшення

$\sigma_B$  та  $\sigma_T$ , та зменшення  $\delta_B$ , додавання мангану майже не впливає. Наприклад, характеристики сталей Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст2Гпс такі:  $\sigma_B = 330 - 420; 340 - 440; 340 - 440; 340 - 450$  МПа;  $\sigma_T = 190 - 220; 200 - 230; 200 - 230; 200 - 230$  МПа;  $\delta_B = 30 - 33; 29 - 32; 29 - 32; 29 - 32$  %.  $\sigma_T$  і  $\delta_B$  для всіх марок сталі залежать від товщини прокату.

В гарячекатаних сталях швидкість охолодження зменшується при збільшенні діаметра (товщини) прокату від 10 до 100 мм. Зменшення швидкості охолодження веде до утворення більш грубих ферито-перлітних структур і зменшенню  $\sigma_T$  і  $\delta_B$  [6].

Ударна в'язкість вуглецевої сталі звичайної якості групи В (табл. 4) змінюється в залежності від товщини та температури. Вона вимірюється у листового прокату впоперек прокату, а у широкострічкового сортового та фасонного – вздовж. При збільшенні товщини і зменшенні температури ударна в'язкість знижується і не змінюється після механічного старіння. Температури дослідів 290 та 250 К. Додавання мангану не впливає на ударну в'язкість. Зі збільшенням вмісту вуглецю ударна в'язкість зменшується. Наприклад: ВСт3сп широкострічкова з товщиною 5 – 9 мм має  $a_n^{290} = 1000; a_n^{250} = 500$ , з товщиною 10 – 25 мм відповідно 800; 300, сортова та фасонна з товщиною 5 – 9 мм має 1100; з товщиною 10 – 25 мм – 1000. Для ВСт4сп з товщиною 5 – 9 мм має 1000, а з товщиною 10 – 25 мм – 900 кДж/м<sup>2</sup>.

**Таблиця 4.** Ударна в'язкість вуглецевої сталі звичайної якості

Марка	Вид прокату	Розташування зразка відносно прокату	Товщина, мм	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup> , не менше		
				при $\Theta$ , К		після механічного старіння
				290	250	
ВСт3пс	Листовий	Поперек	5 – 9	800	400	400
			10 – 25	700	300	300
			26 – 40	500	...	...
ВСт3сп	Широко-стрічковий	Вздовж	5 – 9	1000	500	500
			10 – 25	800	300	300
			26 – 40	700	...	...
ВСт3Гпс 3 – 6 категорій	Листовий	Поперек	5 – 9	800	400	400
			10 – 30	700	300	300
			31 – 40	500	...	...
ВСт4пс	Листовий	Поперек	5 – 9	700	...	...
			10 – 25	600	...	...
			26 – 40	400	...	...

Прокат з вуглецевих сталей в залежності від призначення поділяється на три групи: I – всі види прокату, які використовують без

обробки поверхні; II – з обробкою різанням; III – з обробкою тиском. Для кожної групи на поверхні прокату допускаються дефекти, якщо їх глибина знаходиться в межах від'ємного відхилення або зміна розмірів профілю прокату при повному видаленні дефектів не виходить за допустимі рамки.

Якщо допустимі відхилення не нормуються, допускається глибина залягання дефектів або зачищення дефектів не більше 10 % товщини контролюємого профілю.

В прокатаній сталі зазвичай утворюється смугаста або рядкова структура, орієнтована в напрямленні прокатки внаслідок такої ж орієнтації ланцюга частинок неметалічних включень. Смугаста структура свідчить про анізотропію метала.

### 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.Зудау // Черные металлы, 2000, № 2. – С. 23 – 26.