

УДК 669.18 (075.8)

## СПОЖИВЧІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВОЇ ЯКІСНОЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

*В. С. Богушевський, О. М. Кириленко*

*Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

*Наведені галузі застосування, структура, хімічний склад і механічні властивості вуглецевих якісних конструкційних сталей.*

*Приведены области применения, структура, химический состав и механические свойства углеродистых качественных конструкционных сталей.*

*The fields of application, the structure, a chemical composition and mechanical properties of carbonaceous high-quality constructional steel are discussed.*

### **Вступ**

Якісні вуглецеві сталі виплавляються в електропечах, кисневих конвертерах і мартенівських печах по ГОСТ 1050-88 (сталі марок 15Г – 50Г по ГОСТ 4543-71). До них пред'являють жорсткі вимоги по вмісту шкідливих домішок (сірки – не більше 0,04 мас.%, фосфору – не більше 0,035 %). Сталі маркують двозначними цифрами 08, 10, 15, ..., 85), що вказують середній вміст вуглецю у сотих частках відсотка. Ступінь розкиснення позначається у кінці марки: кп – кипляча, пс – напівспокійна. У випадку спокійної сталі ступінь розкислення не приводиться.

По вмісту вуглецю якісні вуглецеві сталі поділяються на низько-вуглецеві (до 0,25 мас.% С), середньовуглецеві (0,25 – 0,6 мас.% С) і високо-вуглецеві (вище 0,6 мас.%) [1].

Для виробів відповідального призначення використовують високо-якісні сталі зі ще більш низьким вмістом сірки і фосфору (до 0,025 % кожного). Низький вміст шкідливих домішок здорожує сталь і ускладнює її виробництво. Тому звичайно як високоякісні випускають не вуглецеві, а леговані сталі, при цьому в кінці марки додається літера А.

Особливостями хімічного складу вуглецевих якісних сталей (табл. 1) є звужений марочний інтервал вмісту вуглецю (не більше 0,08 мас.%), нормований вміст хрому (0,10 – 0,25 %) для попередження „підгартування”

при охолодженні прокату і забезпечення його твердості по Бринелю (*НВ*, МПа) не вище 255 незалежно від вмісту вуглецю, обмеження вмісту сірки і фосфору до 0,035 % кожного [2 – 4].

**Таблиця 1.** Хімічний склад вуглецевих якісних сталей

Марка сталі	C, мас.%	Mn, мас.%	Si, мас.%	Cr, % не більше
08кп	0,05-0,12	0,25-0,50	≤ 0,03	0,10
08пс	0,05-0,12	0,35-0,65	0,05-0,17	0,10
08	0,05-0,12	0,35-0,65	0,17-0,37	0,10
10кп	0,07-0,14	0,25-0,50	≤ 0,07	0,15
10пс	0,07-0,14	0,35-0,65	0,07-0,17	0,15
11кп	0,05-0,12	0,30-0,50	≤ 0,06	0,15
15кп	0,12-0,19	0,25-0,50	≤ 0,07	0,25
15пс	0,12-0,19	0,35-0,65	0,05-0,17	0,25
15	0,12-0,19	0,35-0,65	0,17-0,37	0,25
18кп	0,12-0,20	0,30-0,50	0,17-0,37	0,15
20кп	0,17-0,24	0,25-0,50	0,17-0,37	0,25
20пс	0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	0,25
20	0,17-0,24	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
25	0,22-0,30	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
30	0,27-0,35	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
35	0,32-0,40	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
40	0,37-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
45	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
50	0,47-0,55	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
55	0,52-0,60	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25
58 (55пс)	0,55-0,63	≤ 0,20	0,10-0,30	0,15
60	0,57-0,65	0,50-0,80	0,17-0,37	0,25

Якщо сталі призначені для виготовлення патентованого дроту, то в них зменшують вміст мангану (0,30 – 0,60), домішок хрому і нікелю (до 0,15 мас.% кожного) і міді (до 0,20 мас.%), щоб не збільшити стійкість переохолодженого аустеніту і не отримати після патентування небажану структуру зі зниженою пластичністю. Для прокату сталей із вмістом

вуглецю більше 0,35 мас.% нормується зневуглецювання, якщо деталі із цих сталей будуть індукційно загартовувати. Допускається зневуглецювання на глибину не більше 0,5 – 1,5 % діаметра (розміру сторони), включаючи шар фериту і перехідну зону.

Вуглецева якісна конструкційна сталь за видами обробки поділяється на гарячекатану і ковану, калібровану круглу із спеціальною обробкою поверхні. В залежності від призначення гарячекатана сталь поділяється на такі підгрупи: для гарячої обробки тиском, для холодної механічної обробки (обточка, фрезерування і т.п.) і холодного волочіння [5].

За станом матеріалу сталь виготовляється без термічної обробки, термічно обробленою – Т; нагартованою – Н (калібрована і сріблянка).

Механічні властивості гарячекатаного і кованого прокату приведені в таблиці 2.

**Таблиця 2.** Механічні властивості прокату (не менше) із вуглецевої якісної сталі діаметром (товщиною) не більше 80 мм

Марка сталі	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %
08	320	196	33	60
10	330	205	31	55
15	370	225	27	55
20	410	245	25	55
25	450	275	23	50
30	490	295	21	50
35	530	315	20	45
40	570	335	19	45
45	600	355	16	40
50	630	375	14	40
55	650	380	13	35
58 (55пс)	600	315	12	28
60	680	400	12	35

Примітки: 1. При товщині прокату вище 80 мм допускається зниження  $\delta_B$  на 2 % і  $\varphi$  – на 5 %.

2. Твердість *НВ*, МПа, не повинна перевищувати для каліброваного прокату або із спеціальною обробкою поверхні – 269.

3. При вмісті вольфраму 0,002 – 0,006 % у кінці марки ставлять літеру Р.

При бажанні споживача прокат виготовляють в термічно-оброблюваному стані (після загартування і відпуску) або в нагартованому стані. Механічні властивості прокату після обробки приведені в таблиці 3.

З підвищенням вмісту вуглецю у сталі  $\sigma_B$  і  $\sigma_{0,2}$  зростають, а  $\delta_B$  і  $\varphi$  – зменшуються, як для термооброблених, так і термонеоброблених сталей. Найвищі значення механічних характеристик для всіх марок сталі відповідають нагартованій сталі, а найнижчі - відпаленій або після

високого відпуску, причому в усіх випадках найкраща пластичність притаманна сталі без термічної обробки, а найгірші - сталі після гартування. Введення мангану дещо збільшує міцнісні характеристики і майже не впливає на пластичні.

**Таблиця 3.** Механічні властивості прокату (не менше) із якісних вуглецевих сталей в нагартваному або термічно обробленому стані

Марка сталі	Нагартований стан			Після відпалення або високого відпуску		
	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\varphi$ , %
10	410	8	50	290	26	55
15	440	8	45	340	23	55
20	490	7	40	390	21	50
25	540	7	40	410	19	50
30	560	7	35	440	17	45
35	590	6	35	470	15	45
40	610	6	35	510	14	40
45	640	6	30	540	13	40
50	660	6	30	560	12	40

Вуглецеві конструкційні сталі використовують для виготовлення деталей з підвищеною твердістю поверхні і в'язкою серцевиною (цементуемі, азотуемі, зміцнювані СВЧ). Хіміко-термічна обробка підвищує твердість зразків як на поверхні, так і в серцевині, причому перша не залежить від вмісту вуглецю, наприклад для сталі 08 – *HRC* дорівнює 56 – 62, а *HB* – 1370 МПа, а для сталі 25 відповідно 54 – 62 і 1700 МПа.

Вироби із вуглецевої конструкційної сталі піддають покращенню після чого сталь набуває високу в'язкість, потрібні межу текучості і межу міцності.

Ударна в'язкість зменшується із зниженням температури і вмісту вуглецю і підвищується із введенням мангану (табл. 4).

**Таблиця 4.** Ударна в'язкість вуглецевої якісної конструкційної сталі в залежності від температури

Марка	Режим термообробки	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup> , при $\Theta$ , К		
		250	230	210
10	3, 1160+O, 920	2200	2100	1800
20	3, 1160+O, 920	1100	880	390
20Г	3, 1160+O, 920	1420	1250	1150

Із зростанням температури  $\sigma_T$  вуглецевої якісної конструкційної сталі зменшується, а  $\delta$  збільшується для гарячекатаної сталі.  $\sigma_B$  з підвищенням температури з 290 до 570 К збільшується, а в подальшому

зменшується, а  $\phi$  з підвищенням температури з 290 до 570 К зменшується, а в подальшому збільшується (табл. 5).

**Таблиця 5.** Механічні властивості вуглецевої конструкційної сталі в залежності від температури

Марка, стан	$\Theta$ , К	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_B$ , %	$\phi$ , %	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup>
08, горячекатана	290	320	180	20	77	700
	570	380	100	24	67	1300
	770	200	80	33	77	900
10, нормалізація при 1170-1190 К	290	430	265	31,5	69,0	2250
	570	525	180	23,0	55,0	1450
	770	260	160	18,5	62,5	800
15, нормалізація при 1170-1190 К	290	460	250	32,0	69,0	1800
	570	550	235	18,5	51,0	1400
	770	310	175	26,5	66,0	800
45, горячекатана	290	640	360	22	49	400
	570	730	260	22	44	600
	770	380	180	23	67	400

Межа втоми вуглецевих конструкційних сталей підвищується із зростанням вмісту вуглецю при однаковій термообробці і підвищується із зростанням вмісту мангану (табл. 6).

**Таблиця 6.** Межа втоми вуглецевих конструкційних сталей

Марка	Режим термообробки	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{-1}$ , МПа
10	Н, 1170-1190	430	160-220
15	Н, 1170-1190	460	217
40	З, О	663	317
40Г	З, О	730	335

Межа триваломіцності і модуль нормальної пружності вуглецевих конструкційних сталей падає із зростанням температури, незначно змінюючись із зростанням вмісту вуглецю (табл. 7, 8). Падіння модуля нормальної пружності з температурою проходить менш інтенсивно при підвищеному вмісті вуглецю.

**Таблиця 7.** Межа триваломіцності вуглецевих конструкційних сталей

Марка	Термообробка	Час, год	$\sigma_r$ , МПа, при $\Theta$ , К		
			670	720	770
40	Н	1000	320	200	110
		10000	260	140	70
		100000	190	100	44
45	Н	10000	250	140	70
		100000	190	97	44

**Таблиця 8.** Модуль нормальної пружності вуглецевих сталей в залежності від температури

Марка	E, ГПа, при T, К			
	290	470	570	670
08	207	186	156	144
40	204	200	197	194
40Г	214	210	200	200

Механічні властивості загартованої вуглецевої конструкційної сталі змінюються в залежності від діаметра заготовки (*d*) і температури відпуску ( $\Theta$ ) (табл. 9).

**Таблиця 9.** Механічні властивості загартованої (від 1130 К у воді) вуглецевої конструкційної сталі в залежності від діаметра заготовки і температури відпуску

Марка	$\Theta$ , К	<i>d</i> , мм	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_B$ , %	$\varphi$ , %	$a_{нз}$ , кДж/м <sup>2</sup>	HB, МПа
30	670	20	690-860	550-600	12-21	58-66	1000-2200	1900-2390
	670	60	560-680	420-490	16-24	53-64	900-1900	1530-1890
	870	20	590-660	400-460	19-25	71-78	2000-2700	1650-1840
	870	60	490-570	350-390	21-28	66-72	1500-2300	1380-1580
35	670	20	780-940	630-760	10-15	55-61	800-1500	2150-2600
	670	60	630-730	460-520	14-19	50-58	700-1300	1720-2020
	870	20	630-690	420-480	17-22	68-74	1800-2300	1730-1910
	870	60	530-610	370-410	20-24	64-68	1200-1900	1450-1680

Манганові сталі мають такі ж  $\sigma_B$  і  $\sigma_T$ , трохи нижче відносно подовження і звуження при розірванні.

Якісні вуглецеві сталі знаходять багатостороннє використання в техніці, так як в залежності від вмісту вуглецю і термічної обробки мають різні механічні і технологічні властивості [6].

### Висновки

1. Низьковуглецеві сталі за призначенням поділяють на дві підгрупи:

– Сталі 05, 08, 10 – маломіцні, високопластичні. Через здатність до глибокого витягування їх використовують для холодного штампування різних виробів. Без термічної обробки в гарячекатаному стані їх використовують для шайб, прокладок, кожухів й інших деталей, що виготовляються холодною деформацією і зваркою.

– Сталі 15, 20, 25 – цементуємі, що призначені для деталей невеликого розміру (кулачки, штовхачі, ненавантажені шестірні, які повинні мати тверду, зносостійку поверхню і в'язку серцевину. Поверхневий шар після цементації зміцнюють загартуванням у воді в

поєднанні з низьким відпуском. Серцевина внаслідок низького прогартування зміцнюється слабо. Ці сталі використовують також гарячекатаними і після нормалізації. Вони пластичні, добре штампуються і зварюються. Використовуються для виготовлення деталей машин і приладів невисокої міцності (скріплюючих деталей, втулок, штуцерів та ін.), а також для деталей котлобудівництва (труби перегрівачів, змійовиків), що працюють під тиском при температурі від мінус 40 до 425 °С.

2. Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45, 50, 55 відрізняються великою міцністю, але меншою пластичністю, ніж низьковуглецеві. Їх використовують після покращання, нормалізації і поверхневого загартування. В покращеному стані – після загартування і високого відпуску на структуру сорбіту – досягається висока в'язкість, пластичність і, як наслідок, мала чутливість до концентраторів напружень. При збільшенні перерізу деталей з-за наскрізного прогартування механічні властивості сталей знижуються. Після покращання сталі використовують для виготовлення деталей невеликого розміру, працездатність яких визначається опором втомлюваності (шатуни, колінчаті вали мало обертових двигунів, зубчаті колеса, маховики, вісі та ін.). При цьому можливий розмір деталей залежить від умов їх роботи і вимог до прогартування. Для деталей, що працюють на розтягування і стиснення (наприклад, шатуни), необхідна однорідність властивостей метала по всьому перерізу й, як наслідок, наскрізне прогартування. Розмір перерізу таких навантажених деталей обмежується 12 мм. Для деталей, що працюють на вигин і кручення (вали, вісі та ін.), товщина зміцненого при загартуванні шару повинна бути не меншою половини радіуса деталі. Можливий розмір перерізу таких деталей – 30 мм.

Для виготовлення більш великих деталей, що працюють при невисоких циклічних і контактних навантаженнях, використовують сталі 40, 45, 50. Їх використовують після нормалізації і поверхневого індукційного загартування з нагрівом СВЧ тих місць, що повинні мати високу твердість поверхні ( $HRC$  40 – 58) і опір зношенню (шейки колінчатих валів, кулачки розподільних валиків, зуби шестірень і т.п.).

Індукційним загартуванням з нагрівом СВЧ зміцнюють також поверхні довгих валів, ходових гвинтів станків та інших деталей, для яких важливо обмежити деформацію при термічній обробці.

3. Сталі з високою концентрацією вуглецю (60, 65, 70, 75, 80, 85), а також з підвищеним вмістом мангану (60Г, 65Г і 70Г) найбільше використовують як ресорно-пружинні. Їх піддають загартуванню і середньому відпуску на структуру трооститу для отримання високих пружних і міцносних властивостей ( $\sigma_B > 800$  МПа). Сталі використовують

для силових пружних елементів – плоских і круглих пружин, ресор, пружних кілець та інших деталей пружинного типу.

### 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.
6. Данченко В.Н. Кардинальные изменения технологии и проблемы теории производства стального проката // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2000. – № 8. – С. 13 – 19.