

АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ПО СНИП И EN



А.Н. ЖАБИНСКИЙ,
к. т. н., доцент,
зав. кафедрой «Металлические
и деревянные конструкции» БНТУ

В Республике Беларусь при проектировании стальных конструкций применяют строительные конструкционные стали по ГОСТ 27772, созданному в 1988 году. Этому документу был присвоен статус Межгосударственного стандарта. В соответствии с этим стандартом строительные стали обозначаются: С235, С245, С255, С285, С345, С375, где С — строительная сталь, а цифра — предел текучести в МПа наиболее тонкого листа проката. По способу раскисления стали подразделяются: С235 относится к кипящей (КП), С245 — к полуспокойной (ПС) и С255 — к спокойной (СП) сталям. Остальные стали по способу раскисления относятся к спокойным. Раскисление стали осуществляется добавками кремния (Si) в ковш при разливке из печи. Механические характеристики сталей определяются пределом текучести и пределом прочности на образцах по результатам испытаний на растяжение, ударная вязкость — испытаниями на удар образцов типа КСЧ. Чтобы исключить хрупкое разрушение при самой низкой температуре эксплуатации минимальное значение ударной вязкости для таких образцов при положительной «+20, 0 °С» и отрицательной «-20, -40 °С» температуре должно быть не менее 29 Дж/см². В соответствии со СНиП выбор стали для конструкции принимается в зависимости от условий эксплуатации здания или сооружения.

Европейский стандарт к конструкционным сталям EN 10025 подготовлен Техническим комитетом ECIS/TC 10 (Европейский комитет по стандартизации железа и чугуна) «Конструкционные стали — Марки и качество», одобрен CEN (Европейским комитетом по стандартизации) 1 апреля 2004 г. Европейскому стандарту присвоен статус Национального стандарта без каких-либо изменений для стран ЕС. Вступающие с ним в противоречие национальные стандарты стран CEN должны были быть убраны из обращения.

В данном документе определены восемь марок стали: S185, S235, S275, S355, S450, E295, E335, E360. Они различаются по своим механическим свойствам. Символ S принят для конструкционной стали, символ E — для инженерной стали. Цифра обозначает номинальное значение предела текучести f_y в МПа. Для проверки соответствия конструкции EN 1993 1-1 и достаточности пластичности к стали установлены следующие требования:

- для упругого расчета:
 $f_u / f_y \geq 1,10$; удлинение разрыва не менее 15 % (при длине образца $5,65\sqrt{A_0}$, где A_0 — площадь поперечного сечения); $\epsilon_u \geq 15 \epsilon_y$ (ϵ_u — деформация предела прочности, а ϵ_y — деформация предела текучести);
- для пластического расчета:
- $f_u / f_y \geq 1,15$; удлинение разрыва не менее 15 % (при длине образца $5,65\sqrt{A_0}$); $\epsilon_u \geq 20 \epsilon_y$.

Модуль упругости при расчете принят равным $E = 210\,000 \text{ Н/мм}^2$, что на 2 % отличается от наших норм.

По качеству стали различаются в зависимости от заданных требований к работе удара (ударной вязкости). Марки стали S235 и S275 могут поставляться с качеством JR, J0 и J2. Марка S355 может поставляться с качеством JR, J0, J2 и K2. Марка S450 поставляется с качеством J0. Для всех сталей гарантируется значение ударной вязкости на образцах типа KCV, значение которого должно быть не менее 27 Дж/см²: для JR — при $t = +20 \text{ °C}$; J0 — при $t = 0 \text{ °C}$; J2 — при $t = -20 \text{ °C}$ и K2 — при $t = -40 \text{ °C}$.

Способы раскисления стали обозначаются следующим образом: FN — неуспокоенная (кипящая) сталь, которая не допускается; FF — полностью раскисленная сталь, содержащая азотосвязывающие элементы в количестве, достаточном для связывания присутствующего азота (например, 0,020 % общего алюминия минимум). Обычно в качестве руководства принимается минимальное соотношение алюминия к азоту 2 : 1, если не присутствуют другие азотосвязывающие элементы. Раскисление стали осуществляется добавками Al, Si, Mn, Ti.

Стали могут поставляться в катаном состоянии (+AR) — это состояние поставки без проведения какой-либо специальной прокатки и (или) термообработки. Нормализующая прокатка (+N) — это такой процесс прокатки, при котором конечная деформация производится в определенном температурном диапазоне и в результате которого состояние материала эквивалентно состоянию, достигаемому после нормализации, с тем чтобы заданные значения механических свойств сохранялись даже после нормализации. Термомеханическая прокатка (M) — процесс прокатки, при котором конечная деформация производится в определенном температурном диапазоне и в результате которого материал приобретает такие свойства, которые не могут быть достигнуты или повторены только с помощью термообработки. Можно относить процессы, в которых используется охлаждение с повышенной скоростью, в том числе самоотпуск, но исключая прямую закалку и закалку и отпуск. Температурный режим очень важен, поскольку последующий нагрев свыше 580 °С может снизить значение прочности. (В некоторых публикациях также используется аббревиатура TMCP — термомеханический контролируемый процесс).

Ниже приведен пример маркировки стали по стандарту EN:

Сталь EN 10025-2 — S355J0C+N (или +AR).

Обозначение включает:

- номер данного документа — EN 10025-2;
- название стали — символ S (для конструкционной стали);
- минимальное значение заданного предела текучести в МПа 1 МПа = 1 Н/мм² (для толщин $\leq 16 \text{ мм}$);

- обозначение качества стали относительно заданных значений работы удара — JR, J0, J2 и K2;
- символ С — пригодность к отбортовке в холодном состоянии;
- указание «+N» или «+AR» — если продукция заказывается и поставляется в состоянии нормализующей прокатки или в катаном состоянии.

Для данного примера указанная марка стали будет читаться: конструкционная сталь (S), заданный минимальный предел текучести 355 МПа при температуре

окружающей среды равной 0 °С, минимальная величина работы удара 27 Дж при температуре $t = 0\text{ °C}$ (J0), пригодность к отбортовке в холодном состоянии (С), состояние поставки после нормализующей прокатки (+N) (или в катаном состоянии (+AR)).

В таблице 1 приведена выборка химического состава и значение ударной вязкости стали из стандарта EN 10025-2 и ГОСТ 27772.

Таблица 1

Химический состав стали и значение ударной вязкости

Обозначение	Способ раскисления	С в % max для номинальной толщины продукции, в мм			Si, % max	Mn, % max	P, % max d	S, % max d, e	Ni, % max f	Xr	Cu, %	Работа удара	
		≤ 16	> 16 ≤ 40	≥ 40								KCV дж/см ²	t °C
По EN 10025-1: FN — неустойчивая (кипящая) сталь не допускается); FF — полностью раскисленная сталь.													
S235JR	FN	0,17	0,17	0,20	—	1,4	0,035	0,035	0,12	—	0,55	27	+20
S235J0	FN	0,17	0,17	0,17	—	1,4	0,030	0,030	0,12	—	0,55	27	0
S235J2	FF	0,17	0,17	0,17	—	1,4	0,025	0,025	—	—	0,55	27	-20
S355JR	FN	0,24	0,24	0,24	0,55	1,6	0,035	0,035	0,12	—	0,55	27	+20
S355J0	FN	0,20j	0,20k	0,22	0,55	1,6	0,030	0,030	0,12	—	0,55	27	0
S355J2	FF	0,20j	0,20k	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025	—	—	0,55	27	-20
S355K2	FF	0,20j	0,20k	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025	—	—	0,55	40	-40
По ГОСТ 27772: кп — кипящая сталь, допускается для 3-й и 4-й групп конструкций; пмс — после механического старения.													
C235	кп	0,22	0,22	0,22	< 0,05	< 0,6	0,04	0,05	≤ 0,3 ≤ 0,3	0,3	—	—	—
C245	пс	0,22	0,22	0,22	0,05–0,15	< 0,65	0,04	0,05	≤ 0,3 ≤ 0,3	0,3	29-пмс	-20	-20
C255	сп	0,22	0,22	0,22	0,15–0,3	< 0,65	0,04	0,05	≤ 0,3 ≤ 0,3	0,3	29	-20	-20
C345	сп	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,8	1,3–1,7	≤ 0,035	≤ 0,04	≤ 0,3 ≤ 0,3	≤ 0,3	29-пмс 34-пмс	+20 -20 -40	

Анализ химического состава стали показывает, что по ГОСТ содержание вредных примесей выше: S — 0,05 %, P — 0,04 % и N, повышенное содержание Ni и Xr. Повышенное содержание S способствует явлению красноломкости в стали, P — повышает хрупкость при понижении температуры, ухудшается свариваемость стали. Несвязанный азот способствует старению стали. Улучшение свойств сталей достигается термической обработкой — нормализацией.

По EN сталь более чистая по содержанию: S — (0,035–0,025) %, P — (0,035–0,025) % и N. Качество стали выше и достигается повышением чистоты сталей по химическому составу, содержанию ликваций и неметаллических включений, проведению нормализующей и термомеханической прокатки.

Заключение.

1. В СНиП (ГОСТ) и EN принята идентичная маркировка сталей — по пределу текучести (C235..., S235... и т. д.).

2. В зависимости от способа раскисления:

- по ГОСТ сталь C235 — кипящая (кп), C245 — полуспокойная (пс) и C255 — спокойная (сп). В ГОСТ принят более дифференцированный подход к прочностным характеристикам стали в зависимости от толщины; в СНиП — в зависимости от условий эксплуатации все конструкции разделены на четыре группы, в соответствии с которыми и назначается марка стали;
- в EN все стали делятся на неустойчивые FN (кипящие) стали, которые не допускаются, и полностью раскисленные FF стали. Раскисление по EN обеспечивается более высоким содержанием Si, Mn, остаточного AL (0,2 %), за счет этого получается более мелкозернистая структура, менее склонная к росту

зерна, уменьшается содержание кислорода, повышается сопротивляемость хрупкому разрушению.

3. По химическому составу:

- по ГОСТ содержание С не более 0,22 %, вредных примесей не должно превышать: S — 0,05 %, P — 0,04 %, повышенное содержание Ni и Xr;
- по EN содержание С не более 0,17 %, сталь более чистая по содержанию вредных примесей S ≤ (0,035–0,025) %, P ≤ (0,035–0,025) %, N.

4. Испытание на ударную вязкость (удар):

- по ГОСТ приняты образцы типа КСВ;
- по EN приняты образцы типа KCV. Образцы KCV ближе соответствуют действительным концентраторам напряжений (трещины, подрезы).

5. Качество стали по EN выше и достигается повышением чистоты сталей по химическому составу, по содержанию ликваций и неметаллических включений, проведению нормализующей и термомеханической прокатки, в результате чего размельчается зерно, снижаются внутренние напряжения, повышается пластичность и прочность.

Список литературы и использованных источников информации

1. СНиП II 23-81* «Стальные конструкции. Нормы проектирования».
2. ГОСТ 27772-88 «Прокат для строительных конструкций. Общие технические условия».
3. EN 1993-1-1 «Проектирование стальных конструкций. Общие правила и правила для зданий».
4. EN 10025-2. Часть 2 «Технические условия поставки для нелегированных конструкционных сталей».