ПРОЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ УНИКАЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

THE STRENGTH OF STEEL PRODUCTS FOR THE UNIQUE METAL STRUCTURES

Проф., д.т.н. Ведяков И.И., проф., д.т.н. Одесский П.Д., инж. Егорова А.А.
ЦНИИСК им В.А. Кучеренко, Москва

Abstract: *The discuss the strength of the plate of large thickness (plate to 230 mm, shaped sections with a thickness of up to 125 mm shelves, etc.) used in the construction unique buildings. The problems of developing requirements and these products, methods for assessing the strength, the choice of materials and efficiency of application.*
KEYWORDS: *PLATE OF LARGE THICKNESS, OVERALL STRENGTH, DUCTILITY, RESISTANCE TO BRITTLE FRACTURES.*

В настоящее время в нашей стране начали широко возводится уникальные строительные объекты – высотные здания, большепролетные (пролеты свыше 100 м) конструкции, стадионы и т.п., где необходимо применять стальные изделия больших толщин с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами: толстолистовой прокат толщиной до 230 мм и выше (в опорных частях конструкций), фасонные профили с толщиной полок до 125 мм, поковки диаметром свыше 500 мм.

Одновременно появилась возможность использования в строительстве сталей повышенной и высокой прочности нового поколения с дисперсными структурами и высокой частотой по вредным примесям, упрочнение проката из которых при массовом производстве налажено в потоке станов с использованием эффектов термомеханической обработки (ТМО).

С учетом возможности поставок с различных заводов проката из новых марок стали и интеграции российского строительства в систему мирового хозяйства были разработаны

и введены в действующие строительные нормы новые универсальные требования к материалам различной прочности

В прокате больших толщин для сварных металлических конструкций в зависимости от схемы упрочнения распределения прочностных свойств по сечению может быть как достаточно однородным. Так и с высокой степенью неоднородности (рисунок 1).

Таблица 1

Нормируемые показатели ударной вязкости проката

Расчетная температура	Группа конструкций	Предел текучести проката, Н/мм²: R_{eH} < 290				290 ≤R_{eH}≤ 390		390 ≤R_{eH}≤ 490		R_{eH} ≥ 490
		Показатели ударной вязкости, Дж/см²:								
		KCA	KCV			KCV		KCV		KCV
		при температуре на ударный изгиб, °С								
		+20	+20	0	-20	-20	-40	-40	-60	-60
t≥ -45	1, 2, 3	29	34	-	-	34	-	34	-	40
-45 >t≥ -55	1	29	-	-	34	-	34	34	-	40
	2, 3	29	-	34	-	34	-	34	-	40
t< -55	1, 2, 3	29	-	-	34	-	34	-	34	40

Примечание

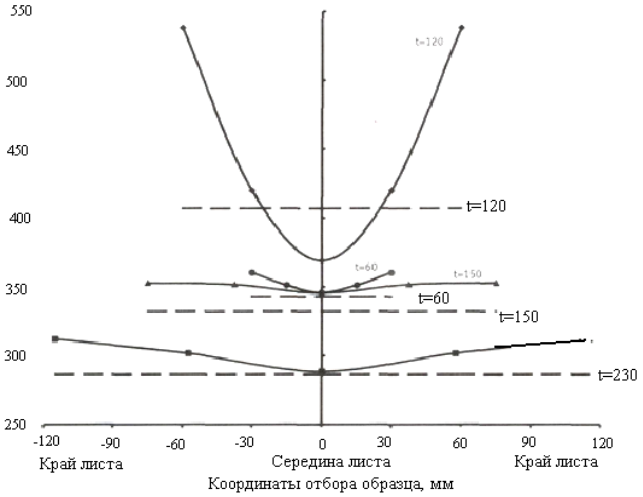
1 KCA – ударная вязкость образцов типа 1 по ГОСТ 9454, испытанных при температуре +20°С, с U – образным надрезом после деформационного старения;

KCV – ударная вязкость образцов с V – образным надрезом (типа 11 по ГОСТ 9454).

2 В толстолистовом прокате испытываются поперечные образцы, в фасонном и сортовом - продольные.

Требования основаны на выявленных параметрических зависимостях величины контролируемых характеристик от микроструктуры. О сопротивлении хрупким разрушениям в этих нормах судят по величине ударной вязкости при отрицательных температурах KCV^{-t}, гарантируется свариваемость, свойства по толщине проката (Z – свойства). Для случая применения изделий упомянутых выше больших толщин, в уникальных сооружениях проведена корректировка этих требований, в том числе с учетом имеющихся разрушений элементов конструкций. Здесь нетрадиционно стадится вопрос об однородности свойств по сечению.

В прокате больших толщин для сварных металлических конструкций в зависимости от схемы упрочнения, распределение прочности свойств по сечению может быть как достаточно однородным, так и с высокой степенью неоднородности (рисунок 1).



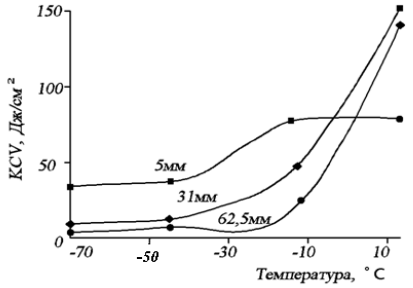
Распределение предела текучести по толщине листового проката (сплошные линии – результаты испытаний цилиндрических пропорциональных образцов; прерывистые – интегральных плоских; t – толщина листов, мм).

Толщины 60, 150, и 230 мм – нормализация, толщина 120 мм – упрочнение в потоке стана

Последнее имеет, место при термомеханической прокатке изделий с последующим охлаждением с достаточно высокой скоростью. В этом случае высокое сопротивление хрупким разрушениям различной природы, переменным нагрузкам, коррозионным и сейсмическим воздействиям обеспечивается при наличии поверхностного упрочненного слоя, где предел текучести на 100…200 Н/мм^2 выше, чем в сердцевине; кроме того при упрочнении в потоке станов в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия на уровне $\sigma_{ост.} \approx 0{,}25\sigma_т$.

Наблюдаемая неравномерность прочностных характеристик обусловлена неравномерностью микроструктуры по сечению, связанной с высокой интенсивностью охлаждения поверхности проката при достаточно высокой скорости движения металла по рольчагу.

Однако подобная неоднородность структуры может привести и к сильной неоднородности распределения ударной вязкости по сечению (рисунок 2).



Влияние температуры на ударную вязкость стали 09ГДФБ с полкой толщиной 125 мм двутавровой балки (испытывались долевые образцы, отобранные на разных уровнях по сечению полки; цифры у кривых – расстояние от оси образца до поверхности проката).

При хрупком состоянии сердце проката здесь в сварных соединениях могут возникнуть слоистые трещины. Достаточно высокая ударная вязкость в осевой зоне была достигнута корректировкой технологии термомеханической прокатки: она велась по режимам высокотемпературной термомеханической прокатки, способствующим формированию в осевых зонах благоприятной микроструктуры. Результаты испытаний показали, что прокат полностью соответствует требованиям (KCV^{-40} = 40 Дж/см^2) по всему сечению (таблица 2).

Таблица 2

Ударная вязкость локальных образцов балок с $\sigma_т$ = 450 Н/мм^2 толщиной полки 125 мм.

Место отбора проб	№№ испытанных образцов	Ударная вязкость при температуре, °С, Дж/см²					
		+20	0	-20	-40	-60	-70
Поверхность	1	174	141	100	45	6,7	56
	2	156	63	77	48	38,7	5,0
1/3t от	1	139	117	93	50	5,0	72,5
поверхности	2	118	100	110	51	37,5	32,5
Осевая зона	1	157	136	87	55	41,2	51,2
	2	173	121	52	48	8,7	25,0

Также способом проверки достаточно хороших свойств сердцевины проката больших толщин является оценка величины относительного сужения ψ_z при испытании на растяжение цилиндрических образцов, вырезанных нормально плоскости проката. Обсуждаемые стали имеют высокую чистоту по вредным примесям и облагороженную, глобулированную фазу неметаллических включений, благодаря чему обсуждаемый прокат имеет максимально высокое гарантированное значение (группу качеств) по этому показателю: $\psi_z \geq 35\%$.

Хладостойкость сварных соединений проката больших толщин оценивалась при испытании в диапазоне температур на статический изгиб крупных образцов с наплавкой (рисунок 3) по провоцирующим режимам (14 кДж/см). Критериальное значение испытаний – деформационное: минимальная температура, при которой сужение у дна надреза разрушенного образца ψ = 1%; эта критическая температура рассматривается как температура нулевой пластичности $T_{нп}$. Результаты испытаний (таблица 3), показывают, что у рассматриваемого проката $T_{нп}$ - 40°С, что позволяет эксплуатацию конструкций из него не всей территории РФ.

Резюме

Современный толстолистовой и фасонный прокат больших толщин имеет высокие эксплуатационные свойства, позволяющие обеспечивать надежную работу уникальных строительных сооружений не всей территории Российской Федерации.