

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

До настоящего времени основным материалом в производстве отечественных строительных металлоконструкций являются углеродистые и низколегированные стали в горячекатаном исполнении. В то же время, за рубежом широко используются горячекатаные фасонные профили – балки, швеллеры и пр. из высокопрочных сталей и сталей повышенной прочности с пределом текучести 440 МПа и более, полученных методом термомеханической прокатки (ТМСП – thermo-mechanical controlled process), а также методом закалки с самоотпуском в потоке стана, например, изделия под маркой HISTAR, запатентованной компанией ArcelorMittal.

Применение высокопрочного проката позволяет до 50 % снизить общую металлоемкость строительных конструкций в сравнении с изделиями из сталей Ст.3 и 09Г2С (рис. 1), соответственно повышая конкурентоспособность данных решений относительно проектов с применением традиционных материалов и железобетона.

С началом внедрения в Украине строительных норм Европейского союза стало возможным применение зарубежного опыта использования высокопрочного проката в стальном строительстве. Несмотря на то, что в Украине отсутствуют мощности по производству крупносортового фасонного проката, упрочненного в потоке стана, профили с необходимыми геометрическими характеристиками можно производить в сварном исполнении из термомеханически упрочненного листа. Листовой термомеханически упрочненный прокат производится на металлургическом комбинате «АЗОВСТАЛЬ» и ММК им. Ильича в соответствии с требованиями ДСТУ EN 10025-4:2007.

Прочностные характеристики ТМСП-проката (в настоящее время на комбинатах производится прокат с минимальным гарантируемым пределом текучести до 500 МПа, пределом прочности – до 700 МПа, относительным удлинением – не менее 17 %) достигаются микролегированием и применением специальных режимов прокатки и охлаждения на толстолистовых станах. Данный продукт имеет мелкозернистую структуру (рис. 2), обладает более низким углеродным эквивалентом, высокой



А.С. Билык
доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры, к.т.н.



Р.В. Курашев
управляющий директор Украинского центра стального строительства



В.В. Горбатенко
специалист Дирекции по техническому развитию ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ», к.т.н.



Г.Н. Коновалов
начальник прокатного отдела Технологического управления ПАО «АЗОВСТАЛЬ»

ударной вязкостью (в т.ч. при отрицательных температурах) и повышенной трещиностойкостью по сравнению с горячекатаным и нормализованным прокатом.

Более низкий углеродный эквивалент обусловлен тем, что требуемый уровень механических свойств достигается не легированием, а прокаткой в диапазоне температур 900–700 °С и контролируемым охлаждением. Для сравнения, в таблице 1 приведен химический состав стали с пределом текучести 460 МПа, которая производится в условиях толстолиствого стана «3600» металлургического комбината «АЗОВСТАЛЬ» с применением нормализации и термомеханической обработки в соответствии с ДСТУ EN 10025.

Из данных таблицы 1 видно, что углеродный эквивалент СЕ нормализованной стали S460N составляет 0,49, а для стали S460M после ТМО – 0,41.

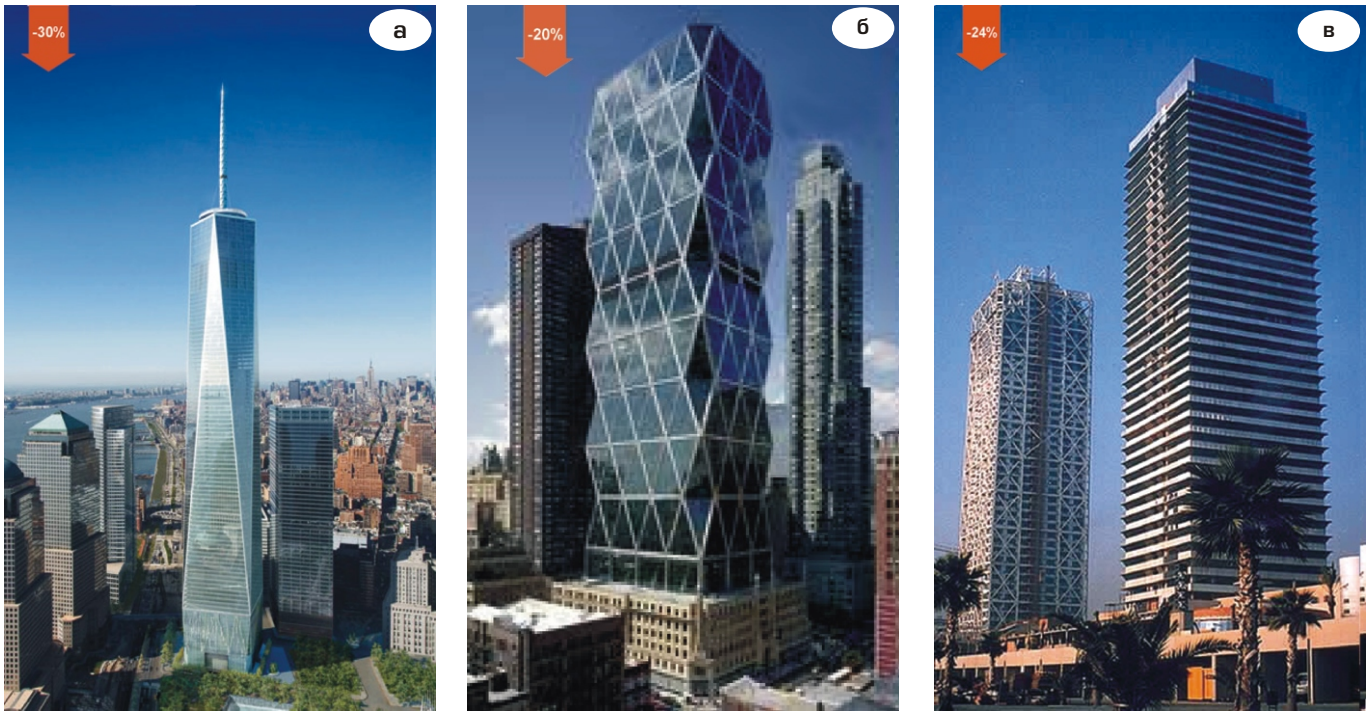


Рис. 1. Современные коммерческие здания с уменьшенной металлоёмкостью вследствие применения высокопрочного проката:

а – Всемирный торговый центр, Нью-Йорк (2014); б – Башня Хёрста, Нью-Йорк (2002); в – Башня Мапфре, Барселона (1992)

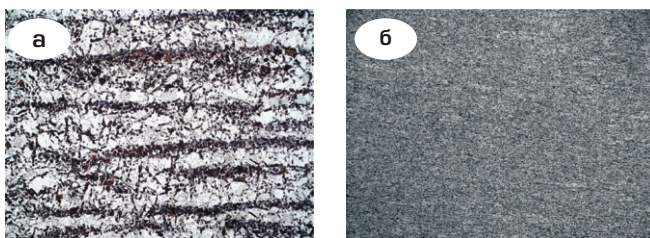


Рис. 2. Микроструктура листового проката с пределом текучести 460 МПа в нормализованном состоянии (а), после термомеханической прокатки (б), увеличение в 200 раз

Кроме того, по специальным заказам в условиях МК «АЗОВСТАЛЬ» возможно производство листового проката с гарантированным обеспечением углеродного эквивалента CE не более 0,38. Снижение углеродного эквивалента, в свою очередь, положительно сказывается на последующих операциях сварки, позволяя снизить температуру предварительного нагрева металла (на $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при изменении CE на 0,01) либо полностью исключить данную операцию из технологического процесса изготовления металлоконструкций.

Следует также отметить, что углеродный эквивалент стали S460M (соответствующей по прочностным свойствам классу S440 согласно ГОСТ 27772-88) практически идентичен аналогичному показателю для значительно менее прочной стали 09Г2С (класс С345, CE 0,45).

Таблица 1

Химический состав сталей с пределом текучести 460 МПа, производимых МК «АЗОВСТАЛЬ» в соответствии с ДСТУ EN 10025 (для толщины листа 20–30 мм)

Химический элемент	Массовая доля элемента, %			
	S460N ДСТУ EN 10025-3:2007 (нормализация)		S460M ДСТУ EN 10025-4:2007 (термомеханическая прокатка)	
	Требования стандарта	Фактическое среднее значение	Требования стандарта	Фактическое среднее значение
C	0,20	0,17	0,16	0,12
Mn	1,00-1,70	1,60	1,70	1,59
Si	0,60	0,26	0,60	0,28
S	0,020	0,004	0,025	0,004
P	0,025	0,008	0,030	0,009
Nb	0,05	0,042	0,05	0,034
V	0,20	0,063	0,12	0,054
Ti	0,050	< 0,005	0,050	< 0,005
Al общ	0,02	0,030	0,02	0,030
Cr	0,30	0,02	0,30	0,03
Ni	0,80	0,64	0,80	0,04
Сu	0,55	0,02	0,55	0,02
Mo	0,10	< 0,01	0,20	0,01
N	0,025	0,007	0,025	0,009
CE	0,53	0,49	0,45	0,41
СЕТ	0,44	0,35	0,41	0,28

Примечание. Расчет углеродных эквивалентов произведен по формулам: $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$; $СЕТ = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$

Мелкодисперсная феррито-бейнитная структура стали обеспечивает высокий уровень прочностных свойств с одновременным сохранением достаточной пластичности и формуемости в холодном состоянии (см. табл. 2). Благодаря высокой прочности, свариваемости и устойчивости к хрупкому растрескиванию термомеханически упрочненный прокат может применяться в конструкциях с температурой эксплуатации до -50°C (сталь S460ML) с гарантированными значениями ударной вязкости (KV не менее 27Дж).

Таблица 2

Сравнительные механические свойства металлопроката для строительных конструкций в соответствии с действующей нормативно-технической документацией

Марка стали	Предел текучести σ_s , МПа, не менее	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение
Ст.3сп	235	370 – 480	23-25
09Г2С	285	450 – 460	21
S460M	460	540 – 720	Не менее 17 (факт. 21– 33)

Повышенный комплекс характеристик ТМСП-проката позволяет эффективно использовать его в строительстве, т.к. это дает возможность применять меньшие по габаритам и толщине сечения элементы при сохранении несущей способности конструкций. В частности, высокопрочные стали показывают чистую экономию в опорных базах, в растянутых элемен-

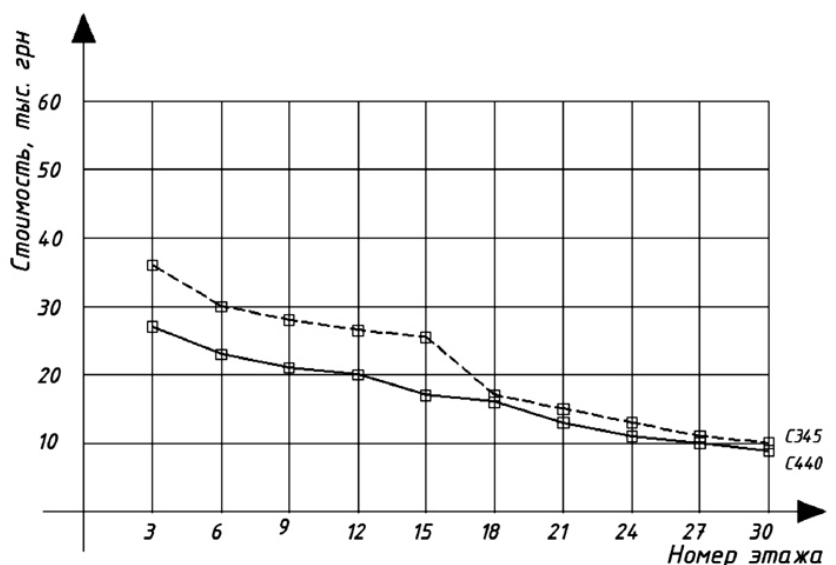


Рис. 4. Эффективность использования стали повышенной прочности в сварных колоннах из листов коробчатого сечения для 30-этажного здания в г. Киеве

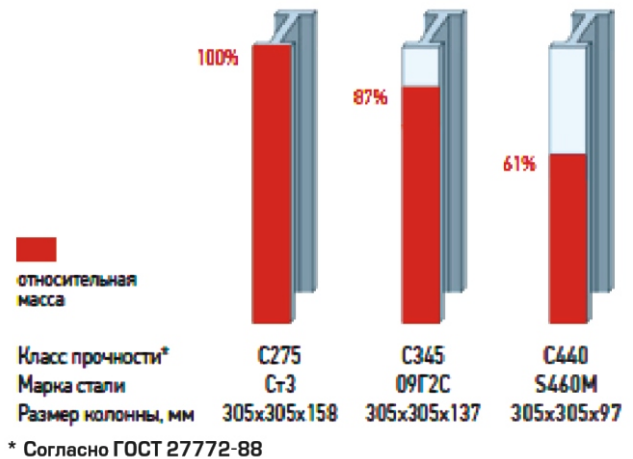


Рис. 3. Относительная эффективность применения ТМСП-проката в сварных двутавровых колоннах высотой 4 м с расчетной нагрузкой 4250 кН

тах поясов и раскосов ферм, подвесов, связей и т.п. Кроме того, высокопрочный прокат эффективен и при использовании в сжатых элементах. На рис. 3 показано относительное снижение металлоемкости от замещения традиционных марок стали термомеханически упрочненным прокатом S460M для сварных двутавровых колонн, которое достигается путем уменьшения толщины полок и стенок профиля с гарантированным обеспечением требуемой несущей способности. Кроме снижения общей металлоемкости и габаритов конструкций, это приводит к сокращению временных и материальных затрат при их изготовлении, транспортировке и возведении здания.

Сравнительные расчеты стоимости стального проката также демонстрируют эффективность применения ТМСП-проката для экономических условий Украины. В частности, комплексные расчеты, произведенные для 30-этажного высотного здания в г. Киеве со стальными сварными колоннами коробчатого сечения, при использовании стали S460M (C440) по сравнению с широко используемой на данный момент сталью S345 показали экономию стоимости до 20 % (рис. 4). Критерий себестоимости в деле, учитывающий дополнительные затраты, связанные с производством, транспортировкой и

монтажом колонн, также показал, что экономически эффективным является применение высокопрочной стали в наиболее нагруженных нижних двух третях высоты здания.

Таким образом, термомеханически упрочненный прокат обладает целым рядом преимуществ по сравнению с материалами, используемыми в отечественном стальном строительстве в настоящее время. Данную сталь возможно использовать в стальных каркасах зданий различного назначения, мостах, эстакадах и других высоконагруженных конструкциях.

- | | |
|--|---|
| <p>[1] ДСТУ EN 10025-4:2007. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. К.: Держспоживстандарт, 2010 р. – 10 с.</p> <p>[2] ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций. Межгосстандарт, 1989 г. – 13 с.</p> <p>[3] Білик А.С., Хмельницька А.В., Бут М.О., Курашев Р.В., Бурган Б. Дослідження вартості висотних офісних будівель зі сталевим та залізобетонним каркасом // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 25. Рівне, 2013. – С. 513–520.</p> <p>[4] Білик С.І., Білик А.С., Усенко М.В., Золотопольський О.Е. Стійкість холодно гнутих швелерів з урахуванням пластичних властивостей маловуглецевих сталей // Збірник наукових праць Укр. НДІ ПСК ім. Шимановського № 7, 2010 – К.: Сталь. – 182 с. – С. 26–36.</p> | <p>[5] Günther H.P. Use and Application of High-performance Steels for Steel Structures IABSE: 2005 – 155 p.</p> <p>[6] Shi C., Mo Y. High-performance Construction Materials: Science and Applications, 2008 – 429 p.</p> <p>[7] Жербин М.М. Высокопрочные строительные стали: характеристики, область применения, расчет и проектирование. – К: Будівельник, 1974. – 160 с.</p> |
|--|---|

Надійшла 24.09.2013 р.

ОФІЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ

ДРУГА НАЦІОНАЛЬНА КОНФЕРЕНЦІЯ УЧАСНИКІВ РИНКУ СТАЛЕВОГО БУДІВНИЦТВА

6–7 листопада 2013 року у м. Києві була проведена II Національна конференція учасників ринку сталевих будівництва, участь у якій взяли більш як 150 фахівців провідних вітчизняних і закордонних організацій і підприємств, що займаються проектуванням, виготовленням, постачанням та монтажем будівельних металевих конструкцій. На конференції розглядалися сучасні інноваційні рішення щодо сталевих конструкцій, спрямовані на зменшення собівартості будівництва, а також шляхи підвищення рівня конкурентоспроможності вітчизняного металобудівництва.

Учасники конференції заслухали доповіді фахівців Metinvestхолдингу, РУУККІ-Україна, ПЕМ-Україна, Укрстальконструкції, КНУБА, СК «Строй-Система», УЦСБ, інституту «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», присвячені питанням сучасного стану на ринку сталевих конструкцій, у т.ч. щодо організації виробництва нових ефективних марок металопрокату, тенденцій у проектуванні будівель із легких металевих конструкцій, перспектив виготовлення будівельних конструкцій із тонколистової сталі, аналізу порівнянь ефективності будівництва офісних будівель із використанням сталі та бетону, шляхів зниження вартості вогнезахисту конструкцій із металу, а також розвитку нормативної бази у галузі металобудівництва.

Крім того, були заслухані ґрунтовні доповіді Ника Коттона – директора з управління DTZ Ukraine та Бассама Бургана – директора інституту сталевих будівництва із Великобританії.

На конференції було презентовано новостворену асоціацію «Український центр сталевих будівництва», головною місією якої є сприяння збільшенню обсягів використання в Україні будівельних конструкцій зі сталі.

Учасники конференції ознайомились із роботою сучасних заводів металевих конструкцій – «Сталтех» (м. Бровари), БФ Завод (м. Бориспіль), а також Сервісного центру сталевих прокату «Метінвест-СМЦ».