

Вл.И.Большаков, В.В.Бабиц

ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ И ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ

Приднепровская государственная академия архитектуры и строительства

Изложены результаты некоторых работ, выполненных по исследованию сталей повышенной и высокой прочности, и их применению в строительных металлических конструкциях. Особое внимание уделено применению термически упрочненным (с прокатного нагрева) сталям повышенной и высокой прочности. Приведены примеры применения термоупрочненной стали на Украине.

Одним из наиболее эффективных способов экономии стали в металлоконструкциях, является правильный выбор эффективных профилей проката, применение прогрессивных конструктивных (расчетных) схем зданий и сооружений, марок сталей, наилучшим образом соответствующих типам конструкций и условиям их эксплуатации. При этом имеется в виду широкое применение более качественного металла, в первую очередь сталей повышенной и высокой прочности. В последнем, скрыты огромные резервы, так как более 80% применяемой стали в металлических конструкциях нашей страны, составляет низкоуглеродистая горячекатаная обычной прочности сталь, с пределом текучести 235 МПа.

Изучение применяемых металлоконструкций в строящихся зданиях и сооружениях в настоящее время на Украине показывает, что в ряде случаев вопросам правильного выбора марок сталей, особенно применению строительных сталей повышенной и высокой прочности, уделяется еще мало внимания. Низколегированные стали повышенной и высокой прочности используются пока еще недостаточно, а новые термически упрочненные стали высокой прочности, находятся в стадии опытного и экспериментального внедрения. Среди многих способов повышения прочности стального проката следует отметить термическое упрочнение с прокатного нагрева широко распространенной стали Ст.3, что поможет компенсировать существующий дефицит низколегированных сталей.

Приоритет в разработке теории и технологии процессов термического и термомеханического упрочнения металлопроката, труб принадлежит академику АН Украины К.Ф.Стародубову, заведовавшему кафедрой термической обработки металлов ДметИ с 1938г. по 1979г., который еще в начале 60-х годов прошлого столетия переориентировал научное направление кафедры на решение этой проблемы. На основании выполненных К.Ф.Стародубовым и его учениками исследований по термической и деформационно-термической обработке металлопроката,

удалось разработать эффективный способ повышения комплекса свойств стали. По сравнению с горячекатаным состоянием термическое упрочнение с прокатного нагрева позволяет в конструкционных сталях: существенно повысить пределы прочности и текучести, усталостную прочность, сопротивление распространению трещин; сохранить на допустимом уровне характеристики пластичности и вязкости; снизить порог хладноломкости.

Исследования по применению такого стального проката начались параллельно с освоением выпуска опытных партий термоупрочненного проката из конструкционных сталей [1]. Начиная с середины 60-х годов, на кафедре металлических конструкций, выполняется научно-исследовательская работа, по применению термоупрочненной стали с прокатного нагрева в строительных и крановых металлоконструкциях, которая позволила обосновать новое направление термического упрочнения проката, возглавляемое академиком АН Украины К.Ф.Стародубовым. На основании выполненных К.Ф.Стародубовым и его учениками исследований по термической и деформационно-термической обработке металлопроката на ряде металлургических заводов и комбинатах в эти годы освоили выпуск опытных партий термоупрочненного проката из низкоуглеродистой стали и низколегированной стали [1]. Исследования по применению такого проката начались параллельно с развитием теории термического упрочнения с прокатного нагрева и введением в действие опытно-конструкторских установок для термической обработки [2–5].

Путем термического упрочнения сотрудники Днепропетровского института черной металлургии под руководством академика К.Ф.Стародубова улучшили качество и прочность низкоуглеродистой стали СтЗприведены (табл. 1).

Таблица 1. . Механические характеристики термически упрочненной стали СтЗпс и Ст.Зсп при различном отпуске, полученные в результате испытания многих образцов,

Группы уголков, упрочненные до класса прочности	$\sigma_{\text{в}}$, кН/см ²	$\sigma_{0,2}$, кН/см ²	ϵ , %	ϕ , %
С350	46,0–48,0	33,0–36,0	25,0–22,0	52–56
С400	49,0–57,0	37,0–41,0	21,0–18,0	56–57
С500	61,0–66,0	48,0–52,0	12,0–10,0	55–56
С750	104,0–111,0	73,0–77,0	8,0–4,0	18–22
С900	114,0–135,0	80,0–96,0	5,0–4,0	15–17
С1000	136,0–150,0	98,0–105,0	3,0–1,0	17–12

Несмотря на возможность существенного улучшения свойств низкоуглеродистой стали Ст.З путем термической обработки, для широкого

применения ее в сварных металлических конструкциях необходимы были исследования с целью изучения свойств, свариваемости, а также выбора оптимального режима ее термической обработки.

На кафедре металлических конструкций ДИСИ (ныне ПГАСА) впервые в стране, были проведены экспериментально–теоретические исследования, конструкций из термоупрочненной стали в условиях, близких к их реальной работе. Исследование моделей крановых стрел предусматривало испытание сжато–изогнутых решетчатых стержней типа крановых стрел на специальном стенде, представляющем массивную раму. Испытанные две серии решетчатых стержней отличались, друг от друга только уровнем упрочнения стали. Решетчатые стержни имели прямоугольное поперечное сечение 150х150 мм. Общая длина каждого стержня – 4,5 м, а приведенная гибкость – 68. Пояса и решетка выполнены из уголка 32х32х4 мм. Схема решетки – треугольная, узлы не совмещены в вертикальных и горизонтальных гранях стержня. Стержень группы А изготовлен из стали ВМ Ст.3сп согласно ГОСТ 380–60*, группы В – из низкоуглеродистой термоупрочненной стали. Свойства примененного металла в стержнях приведены в табл. 2.

Таблица 2. Механические свойства термоупрочненной стали

Группа образцов	Марка стали	Механические свойства			
		$\sigma_{T(0,2)}$, кН/см ²	σ_B , кН/см ²	ϵ , %	φ , %
А	ВМСт. 3 сп	29 (24)	44 (43)	24 (23)	64
В	ВМСт. 3сп термоупроч- ненная	51	63	10	50

Примечание. В скобках – значения механических свойств по ГОСТ 380–60*.

Для установления степени разупрочнения термически упрочненной низкоуглеродистой стали, при сварке были изготовлены и испытаны образцы–уголки, имитирующие соединения конструкции стрелы: пересечения под 90° и 75°, в стык, соединение с накладкой. Одновременно с образцами, имевшими сварные соединения, для сравнения испытывались образцы без сварки. Испытания показали, что в образцах из стали С500 ($\sigma_{0,2}$ =500 МПа), подвергнутых ручной электросварке, максимальное разупрочнение составляет – до 10 %, снижение относительного удлинения (ϵ_{10}) – до 35 %. Степень разупрочнения образца зависила от типа сварного соединения. Экспериментальные исследования решетчатых стержней типа крановых стрел из уголкового профиля 32х32х4 мм показали, что несущая способность стрелы из термоупрочненной Ст3 с $\sigma_{0,2} = 500$ МПа увеличивается на 30–40 % по сравнению со стрелой из горячекатаной стали. Применение термически упрочненной стали уменьшает площадь

поперечного сечения материала в стреле, что приводит к повышению деформативности стрелы. Это обстоятельство устраняется за счет развития поперечных размеров стрелы [4].

С точки зрения использования материала в сечении сжатого или изгибаемого элемента рациональны широкополочные прокатные и сварные двутавры. В конце 60–х годов широкополочные прокатные двутавры нашли массовое применение в США, Японии и в ряде стран Европы. За рубежом на каждые 20–22 млн. тонн выплавляемой стали имелся один стан производительностью 1,2 млн. тонн широкополочных двутавров в год. В СССР, несмотря на огромный объем ежегодной выплавки стали, станы для прокатки широкополочных двутавров на это время отсутствовали. Однако, потребность в стране в широкополочных двутаврах определялась на 1970 г. в 620 тыс. тонн. Прокатные широкополочные двутавры могли быть заменены сварными. В соответствии с решением правительства на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. Бабушкина в эти годы была построена поточная линия по производству сварных широкополочных двутавровых балок крупного сечения.

Внедрение на металлургических заводах термической обработки листовой стали и прокатных профилей с целью увеличения прочности, ударной вязкости и хладостойкости проката поставило задачу по разработке техники и технологии термического упрочнения сварных широкополочных двутавров из разных марок стали. Решение этой задачи потребовало объединения усилий металлургов и строителей с целью определения рациональных уровней упрочнения сварных широкополочных двутавров и технико-экономической эффективности использования их в различных конструкциях.

По заданию К.Ф. Стародубова в лаборатории кафедры металлических конструкций в 1970 году были проведены экспериментальные исследования термоупрочненных широкополочных сварных двутавровых балок. Для исследований были запроектированы и изготовлены сварные широкополочные двутавры с поясами из стали Ст.3, 14Г2, 10Г2С1 и стенками из стали Ст.3, которые подверглись термическому упрочнению в Днепропетровском институте черной металлургии.

С целью подбора необходимого режима отпуска, позволяющего получить заданный комплекс свойств термоупрочненной стали, было проведено исследование влияния температуры нагрева при отпуске, на механические свойства стали стенки и полки термоупрочненного двутавра. Испытание сварных широкополочных двутавров на изгиб проводились на 300 – тонном гидравлическом прессе. Этапы загрузки назначались исходя из величины условного предела текучести ($\sigma_{0,2} = 600$ МПа), полученного путем статистической обработки результатов механических испытаний плоских образцов на растяжение. Сварные двутавровые балки изготавливались из термоупрочненной, листовой стали марки 14Г2С на Днепропетровском

заводе металлоконструкций. Термоупрочнение листовой низколегированной стали 14Г2С выполнялось на металлургическом заводе.

Проведенные экспериментальные исследования сварных двутавров из термоупрочненной листовой стали марки 14Г2С на изгиб показали, что несущая способность сварных двутавров при изгибе увеличивается на 40–55% по сравнению с горячекатанной низколегированной сталью марки 14Г2С. Опытнo термическое упрочнение низколегированной листовой стали, толщиной 10 мм марки 14Г2С позволило сделать вывод, что при сохранении удовлетворительных пластических свойств, прочность стали можно повысить на 45–60%.

После освоения металлургами уголка большого размера проводились экспериментальные исследования подстропильных ферм пролетом 12 м и отдельных элементов этих же ферм из горячекатаных и термически упрочненных ($\sigma_{0,2} = 500$ МПа) уголков 140х12 и 160х10. Згружение ферм производилось статической нагрузкой, приложенной в среднем узле. Сравнение экспериментальных значений местных деформаций (напряжений) и значений прогиба с результатами расчетов показало хорошую сходимость. Анализ работы ферм из термоупрочненной стали показал, что применение термоупрочненных уголков не вносит изменений в характер работы металлоконструкций ферм. Несущая способность их, по сравнению с выполненными из горячекатаного проката, из стали марки Ст3, оказалась в 1,52...1,55 раза выше. Все это позволило сделать вывод о целесообразности применения термоупрочненного проката из стали марки Ст3 в конструкциях подстропильных ферм в случаях, когда гибкость сжатых элементов $\lambda \leq 75$, а вылет полков уголков $B \leq 10$ t.

Для установления степени разупрочнения термоупрочненной низкоуглеродистой стали, при сварке производились экспериментальные исследования на растяжение наиболее типичных сварных соединений из сталей, упрочненных до различных уровней прочности.

Рассмотренный набор типовых сварных соединений, различающихся значением коэффициента концентрации напряжений, распределением остаточных напряжений и так далее, позволил исследовать влияние максимального и минимального разупрочнения в соединениях на несущую способность сварных элементов. Разупрочнение от сварки образцов из термически упрочненной стали возрастает при повышении уровня упрочнения (табл.3). Исследования термически упрочненного проката после сварки показали, что изменение микроструктуры в зоне термического влияния не зависит от уровня упрочнения. Можно условно разделить зону термического влияния на пять характерных слоев: сварной шов, слой перегрева, слой полной перекристаллизации, слой неполной перекристаллизации, слой высокого отпуска. Разупрочнение образцов

происходило обычно в слоях высокого отпуска и реже – в слоях неполной перекристаллизации [2].

Таблица 3. Свойства стали, сварных элементов. Коэффициент разупрочнения.

Сталь	Механические характеристики						Коэффициент разупрочнения $K_{\sigma}=\sigma_{св}/\sigma$	
	исследуемой стали			сварных элементов				
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа а	ϵ_{10} , %	$\sigma_{0,2}$, МПа а	σ_B , МПа а	ϵ_{10} , %	$K\sigma_{0,2}$	$K\sigma_B$
ВМСт.Зпс по ГОСТ 380– 60*	297	449	22,7	297	415	13,0	1,0	0,92
	346	486	139	341	406	6,0	0,98	0,83
	434	566	10,5	366	452	5,3	0,85	0,81
	546	705	9,6	376	515	4,9	0,71	0,73
	670	1100	9,2	507	523	3,5	0,59	0,47

Исследования термоупрочненных прокатных профилей на продольный изгиб позволили установить критическую нагрузку и характер потери устойчивости стержней открытого профиля в упруго–пластической стадии работы материала. Экспериментальным исследованиям предшествовали теоретические, по выявлению рационального уровня термоупрочнения фасонного проката из условия местной устойчивости. Применяя экономичные тонкостенные сечения профильной стали, термоупрочненные до уровня $\sigma_{0,2} = 500$ МПа, следует опасаться местного выпучивания элементов поперечного сечения прокатных профилей, так как принятые в сортаменте максимальные значения гибкости полок и стенок по мере роста прочности стали, не обеспечивают местную устойчивость. В результате проведенных исследований были даны рекомендации по рациональному уровню термоупрочнения проката [3].

Хрупкое разрушение элементов стальных конструкций является одним из самых опасных видов первого предельного состояния. В связи с этим была исследована также склонность к хрупкому разрушению при отрицательной температуре сварных элементов и конструкций из горячекатаных и термоупрочненных уголков. Образцы были изготовлены из уголков 32х4 мм низкоуглеродистой стали, упрочненной до различных уровней условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ (297, 436, 546 и 868 МПа), и представляли собой сварные соединения четырех типов. Испытания проводились с охлаждением при помощи «сухой углекислоты» до температуры -73°C , а также для сравнения при $+22^{\circ}\text{C}$. Отдельные элементы в составе натурных подстропильных ферм пролетом 12 м, выполненные из Ст3, упрочненной до $\sigma_{0,2}=297$ и $\sigma_B=455$ МПа, испытывались зимой при естественном охлаждении

до температур 0° , -10° , -20°C и затем, для сравнения, – летом при температуре $+22^{\circ}\text{C}$. В первом случае концентратом напряжения служили сварные швы соединений, во втором – острые специальные надрезы различной глубины на полках уголков с закруглением в вершине радиусом 0,75 мм. Испытания проводились при статическом нагружении с поэтапным введением ударной нагрузки в область концентрации напряжений. Результаты испытаний показали, что на участке упругой работы при отрицательной температуре хрупкого разрушения не происходило, напряжение на 4...32% превышало предел текучести исходной стали Ст.3. Поверхность изломов во всех случаях была матовой шероховатой. Изломы образцов из стали с пределом текучести до 500 МПа были вязкими, выше – полухрупкими. Следовательно, сталь марки Ст3, упрочненная до $\sigma_{0,2}=450$ МПа может быть успешно использована в решетчатых аналогичных конструкциях, работающих при отрицательной температуре до -20° [5].

Для оценки возможности применения термоупрочненных низкоуглеродистых сталей изучали поведение таких сталей, упрочненных до различных уровней, под воздействием агрессивной среды. Был обнаружен значительный разброс скоростей коррозии для различных уровней упрочнения. Повышенную склонность к коррозии обнаружили стали, упрочненные до условного предела текучести 470 – 500 МПа [6]. Таким образом, при наличии более широкого сортамента упрочненных профилей появилась реальная возможность снизить металлоемкость конструкций до 20 – 25 %.

На кафедре в 90-е годы проведен предварительный анализ экономической эффективности применения термически упрочненных швеллеров и уголков с пределом текучести 390, 440 и 490 МПа в фермах покрытия. Поперечное сечение сжатых элементов коробчатое, образованное из двух швеллеров или уголков, соединенными между собой сварными швами. Изготовление таких коробчатых стержней предусматривается на автоматизированных сварных линиях.

В стальных фермах покрытия использовались три типа замкнутых профилей: круглые трубы, прямоугольные гнутосварные и прямоугольные, образованные сваркой из прокатных уголков, швеллеров или листов. Преимущества замкнутых сечений общеизвестны: экономия металла, трудозатрат по сравнению с тавровым сечением из спаренных уголков, главным образом за счет возможности отказа от фасонки, значительной жесткости поперечного сечения, повышения коррозионной стойкости при условии герметизации внутренней полости и другие. Соотношение стоимостей соответственно между рассматриваемыми трубами в среднем 124:120:100 %.

Однако, из-за сложностей получения проката, соответствующего нормативным требованиям для строительства, методом

высокотемпературной термомеханической обработки осуществление внедрения термоупрочненного проката тормозилось. 80-е годы были посвящены решению практических вопросов термического упрочнения стали с прокатного нагрева широкого сортамента и реализации результатов теоретических исследований нового научно-технического направления, термического и термомеханического упрочнения массовых видов стального металлопроката из низкоуглеродистых и низколегированных марок стали с прокатного нагрева.

Разработана технология термоупрочнения, сконструировано, изготовлено и опробовано уникальное оборудование для упрочнения с прокатного нагрева швеллеров, уголков и листа Днепропетровским институтом черной металлургии. Параллельно в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, проводятся исследования, по применению термоупрочненной стали с прокатного нагрева в реальных конструкциях.

Термомеханическое упрочнение профилей происходит в результате прерванной закалки в потоке прокатного стана с последующим самоотпуском. Принудительное охлаждение проката производит в конце прокатки при температуре 1050–1000⁰С до среднemasсовой температуры 650–600⁰С в установке, расположенной непосредственно за последней чистовой клетью. В результате этого значительно повышается прочность низкоуглеродистой стали, и резко уменьшается ее склонность к хрупкому разрушению. Это особенно важно в металлоконструкциях, эксплуатируемых при низких температурах. В результате улучшения качества низкоуглеродистой стали Ст3, после термоупрочнения появилась возможность замены (без перерасчета сечений элементов конструкций) дефицитных и дорогостоящих низколегированных сталей марок 09Г2, 09Г2С, 14Г2.

Техническими условиями ТУ 14–15–146–85 предусматривалась поставка термически упрочненных равнополочных уголков трех классов прочности (табл. 4) из малоуглеродистой и низколегированной стали.

Таблица 4. Свойства термоупрочненных уголков с прокатного нагрева.

Уровень предела текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа (кгс/мм ²)	Предел текучести, МПа (кгс/мм ²)	Относите льное удлинение, ε, %
	не менее	не менее	
T1 390	490 (50)	390 (40)	20
T2 440	540 (55)	440 (45)	18
T3 490	590 (60)	490 (50)	16

Термоупрочненный прокат Т1 изготовлялся из низкоуглеродистой стали, а Т2 и Т3 из углеродистой и низколегированной стали. Ударная вязкость проката при отрицательной температуре (до минус 70°С) из низкоуглеродистой стали не менее 29 (3,0) Дж/см² (кгс/см²), а из низколегированной стали 34,5 (3,5) Дж/см² (кгс/см²). Ударная вязкость после механического старения для всех классов не менее 29 (3,0) Дж/см² (кгс/см²).

При применении прокатных термоупрочненных профилей высокой прочности Т2 и Т3 (табл. 4) эффективность сварных труб из прокатных профилей особенно повышается за счет повышения устойчивости сжатых стержней с замкнутыми сечениями. Многочисленные отечественные и зарубежные исследования подтверждают, что при прочих равных условиях у стержней коробчатого сечения запас устойчивости на 10–15% выше, чем в стержнях таврового сечения.

При рассмотрении различных вариантов конструктивных решений покрытий пролетом 30 м установлено, что применение ферм с трубами из прокатных термоупрочненных швеллеров и уголков в сжатых элементах является наиболее эффективным по сравнению с другими вариантами существующих покрытий.

В таких фермах, по сравнению с традиционными решениями из спаренных уголков, экономия проката составляет 20–35%, а трудоемкость изготовления снижается на 18–25%. Экономия проката и снижение трудоемкости по сравнению с типовыми решениями достигается, главным образом, за счет высокой прочности термоупрочненного проката, повышенной жесткости поперечного сечения в сжатых элементах, возможности отказа от фасонки. К прямоугольным трубам проще присоединять раскосы, поскольку требуются прямые резы, а не фигурные. На прямоугольные трубы верхнего пояса фермы удобно опирать профилированный настил, по таким поясам безопаснее передвигаться монтажникам, по сравнению с фермами из круглых труб.

С целью разработки рекомендаций по применению термоупрочненного проката, на Днепропетровском ЗМК им. Бабушкина изготовлены, затем испытаны в лаборатории кафедры металлоконструкций ПГАСиА стропильные фермы пролетом 24 м из термоупрочненной стали. Термоупрочненные угловые профили с прокатного нагрева внедрены в структурных покрытиях типа «ЦНИИСК» на Житомирском ЗОКе взамен низколегированной стали 09Г2–12 и на Запорожском энергомеханическом заводе при изготовлении крановых металлоконструкций. В нижних поясах типовых стропильных ферм марки ФС–24–4.8 по серии 1.460.2–10.1 для стоечного корпуса Вольногорского ГОКа применены термоупрочненные уголки 100х10 мм из термоупрочненной низкоуглеродистой стали Ст3 взамен низколегированной стали 14Г2–6. Особенность рассматриваемого термоупрочненного проката является его многослойная микроструктура, изменяющая от поверхности к сердцевине поперечного сечения. Другой

характерной особенностью этого термоупрочненного проката является наличие остаточных сжимающих напряжений в поверхностных слоях. Наличие таких напряжений в прокате в целом положительно влияет на сопротивление хрупкому разрушению при низких температурах и при воздействии циклических нагрузок. Прочность стыковых сварных соединений, выполненных полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа равна прочности основного металла и соединение следует рассматривать как неразупрочняемое при сварке. При замене низколегированного проката термически упрочненным из низкоуглеродистой стали следует применять электроды типа Э50 или 350А и соответствующую им по прочности электродную проволоку Св-08Г2С, Св-10ГА и др. В этом случае замена низколегированного проката не влияет на размеры сварных соединений и не требует перепроектирования соединений или изменения сечений стержней.

Накопленный за последнее время опыт проектирования и изготовления натуральных конструкций их термоупрочненного проката позволил сделать вывод о целесообразности ограничения прочности уголкового проката в решетчатых конструкциях до 400 МПа по условному пределу текучести. В пользу этого говорит ограничение гибкости растянутых и сжатых элементов, разупрочнение при сварке сталей более высокой прочности и значительная проводка проката при жестких режимах охлаждения [7].

В нашей стране и за рубежом, накоплен некоторый опыт, применения высокопрочной стали ($\sigma_{0,2}=400-600$ МПа) в ответственных сварных металлических конструкциях. Результаты проведенных исследований, выдвигают определенные требования, к свойствам высокопрочной стали. Наряду с гарантией необходимой прочности ($\sigma_{0,2}$, σ_B), такая сталь должна обладать хорошей свариваемостью, высокой сопротивляемостью хрупкому разрушению и достаточной предельной пластичностью. Удовлетворение этих требований, достигается рациональным химическим составом стали и режимом термической ее обработки.

Термически упрочненная сталь 14ХГН2МД (С 600) была применена в строительных конструкциях телебашни высотой 375м в г. Киеве. Вся решетчатая часть башни выполнена из трубчатых элементов, в которых для наиболее нагруженных стержней (пояса до отметки 201,26 м) применена высокопрочная сталь С 600 марки 14ХГН2МД. Изготовление труб осуществлялось на заводе тяжелого машиностроения (г. Мариуполь) и являлось одним из первых опытов изготовления сварных труб из высокопрочной стали для строительных конструкций. Вместе с тем, вследствие наличия в стали дорогостоящих элементов (никеля и молибдена), стоимость ее высокая и применение может быть оправдано только для тяжелонагруженных конструкций в уникальных сооружениях.

На Украине стали высокой прочности в мостостроении пока еще не нашли широкого применения. В качестве примера можно привести мостовые

переходы: через реку Смотрич в г. Каменец – Подольске, через реку Старый Днепр в г. Запорожье и Северный мост через Днепр в г. Киеве.

Русло реки Смотрич перекрыто стальным рамным трехпролетным строением. Металлическое пролетное строение представляло собой две трехпролетные балки (средний пролет 76, боковые 51,35 м). Расстояние между опорами ног 148,84 м. В пролетном строении использованы три марки сталей, для наиболее напряженных участков нижнего пояса главных балок – высокопрочная сталь 14Х2ГМР (С 600).

Весьма интересным и современным сооружением является Северный мостовой переход в г. Киеве через Днепр, строительство которого осуществляется по проекту Киевского отделения ГПИ Союз –дорпроект. В этом мосте применена термически обработанная полуспокойная сталь 15Г2АФДпс (С400). По данным Киевского отделения ГПИ Союзпроект, применение стали 15Г2АФДпс вместо стали 15ХСНД (С 345) позволило сэкономить около 400 т металла.

Анализ опыта проектирования и строительства показывает, что стальные каркасы, по ряду технико–экономических показателей (расход металла, стоимость), для зданий в 16–25 этажей не уступают железобетонным. А по таким показателям, как сроки возведения, технологичность изготовления и монтажа, превосходят железобетонные. Для зданий большей этажности (свыше 25 этажей) применение металлических каркасов становится единственно эффективным решением.

В качестве примера эффективного применения сталей высокой прочности в гражданских зданиях может служить построенное в г. Киеве высотное здание (20 этажей) гостиницы «Киев». В каркасе использованы две марки сталей – низкоуглеродистой С 245 и высокопрочной стали С 450 марки 16Г2АФ–для наиболее нагруженных колонн и балок.

Колонны каркаса запроектированы двух типов: сильно нагруженные (усилие 10000–20000 кН)– коробчатого сечения, мало нагруженные – двутаврового сечения. Коробчатые сечения оказались весьма эффективными по сравнению с другими типами сечений. Гибкость их не превышала 40, что позволило эффективно использовать прочностные характеристики высокопрочной стали С 450. В результате применения колонн коробчатого сечения достигнута экономия металла до 20–40%.

Несмотря на несколько большую стоимость высокопрочной стали С 450 по сравнению с низкоуглеродистой С 245 применение ее для каркаса позволило уменьшить расход металла и снизить стоимость всего каркаса на 8–10%. Благодаря рациональной схеме, применению прогрессивных сечений колонн и использованию стали высокой прочности каркас здания имеет хорошие показатели по расходу стали – 26 кг/м³.

1. *Термическое упрочнение проката* /К.Ф.Стародубов, И.Г.Узлов, В.Я.Савенков и др.– М.: Металлургия, 1970. – 368 с.
2. *Флоров И.К., Спенглер И.Е. и др.* Исследование прочности образцов из термоупрочненной стали при ручной сварке. // Пробл. Прочности. – 1972. – № 3. – С. 105–107.
3. *Бабич В.В., Грабинский И.К., Флоров И.К., Поляков С.Н.* Выбор рационального уровня термоупрочнения фасонного сортового проката из условий местной устойчивости. //Металлург. и горнорудн. пром. – 1970. – № 3. – С. 36–39.
4. *Писанко Н.М., Бабич В.В., Флоров И.К.* Низкоуглеродистая сталь, термически упрочненная с прокатного нагрева в конструкциях стрел кранов. // Пром. стр–во и инж. сооруж. – 1969. – № 1. – С. 20–21.
5. *Флоров И.К., Спенглер И.Е.* Хладнохрупкость элементов ферм пролетом 12 м из термически упрочненной стали марки Ст.3. // Пром. стр–во и инж. сооруж. – 1971. – № 5. – С. 26–27.
6. *Флоров И.К.* Исследование коррозии термически упрочненной стали Ст.3. // Пром. стр–во и инж. сооруж.. – 1972. – № 1. – С. 26–27.
7. *Большаков В.И., Флоров И.К. и др.* Технология изготовления термически упрочненного сортового проката на заводах металлических конструкций. // Металлург. и горнорудн. пром. – 1978. – № 4. – С. 82–83.
8. *Бабич В.В., Лаухин Д.В.* Эффективность применения термоупрочненной стали с прокатного нагрева в фермах покрытия // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – Сборник докладов Международного симпозиума. – г. Одесса, 1997. – С. 141–145.
9. *Большаков В.И.* Разработка и использование сталей повышенной и высокой прочности в строительстве. // Вісник Академії будівництва України. – 1997. – С.63–86.
10. *Большаков В.И., Бабич В.В.* Эффективность применения сталей повышенной и высокой прочности при реконструкции пятиэтажных домов. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, – 2002. – № 12. – С.4–7