

Вл.И. Большаков, Е.П. Лукьяненко

**ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ ПРОКАТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ– РЕЗЕРВ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

Показано, что потенциал научных разработок в области применения термоупрочненных высокопрочных сталей в строительных конструкциях с каждым годом увеличивается, но востребуется далеко не в полном объеме.

Обеспечение потребности в металлопрокате для различных отраслей хозяйства страны всегда было важнейшей задачей металлургов. К их чести эту задачу они всегда решали успешно и были пионерами во многих направлениях развития металлургии, опережая на годы и десятилетия металлургическую науку и технику передовых западных стран. В число самых выдающихся ученых входил и академик К.Ф. Стародубов со своими коллегами-учениками, школа которого существует и в настоящее время.

Современная металлургия страны является отраслью номер один, обеспечивающей страну валютой, дающей работу миллионам трудящихся и в то же время стоящей на передовой позиции в науке и технике. Вместе с тем, металлургия является отраслью, имеющей повышенную экологическую опасность, начиная с карьеров, рудников, обогатительных и агломерационных фабрик и заканчивая меткомбинатами. В этой связи рост прочности выпускаемого проката существенно уменьшает потребности в нем в физических тоннах и вредное влияние на экологию.

Одним из способов повышения прочности проката является его термическое упрочнение. Этому посвящено большое количество научных работ, издано много литературы, поэтому термическое упрочнение проката получило такое широкое распространение. В настоящее время производится термоупрочнение малоуглеродистой стали или стали обыкновенного качества, низколегированных сталей, сталей повышенной прочности, а также сталей разработанных в опытно-промышленном порядке для применения в специальных объектах. Однако изучение и обновление процесса термоупрочнения необходимо производить и дальше, в связи с интенсивным ростом выпуска сталей со структурами игольчатого феррита и бейнита, а также сталей со структурой реечного дислокационного мертенсита.

Широкое распространение термоупрочненного проката различных профилей интенсивно началось в конце 60-х годов и продолжалось до 90-х годов прошлого столетия. Днепропетровский завод металлоконструкций им. И.В. Бабушкина был первым заводом, который приступил к

внедрению этого проката в строительные металлоконструкции различного назначения. Для этого были определенные предпосылки. Завод в то время имел наиболее квалифицированные рабочие и инженерные кадры, хорошо оснащенную оборудованием и кадрами центральную заводскую лабораторию, передовое оборудование и освоенные сварочные процессы на различных марках сталей, активно сотрудничал с Приднепровской государственной академией строительства и архитектуры, Днепропетровской металлургической академией и Днепропетровским институтом черной металлургии, а также с ведущими в стране институтами по проектированию металлоконструкций и ИЭС им. Е.О. Патона. К тому времени заводом была осуществлена поставка металлоконструкций на ряд сложных в инженерном отношении объектов (мост им. Е.О. Патона в г. Киеве, космодром Байконур, радиолокаторы дальней космической связи и др.), что подтверждало его высокую инженерную квалификацию.

Не является секретом то обстоятельство, что термоупрочненные стали, применяемые для строительных конструкций, кроме высокой прочности, должны обладать и достаточно хорошей пластичностью (относительное удлинение не менее 14-16%), стабильную ударную вязкость при низких температурах, хорошо сверлиться, хотя бы даже сверлом повышенной твердости. А самое главное – не терять своих механических свойств при термической резке и сварке.

Совместными усилиями всех участников, в т.ч. и металлургов, требования к термически упрочненным сталям выдерживались и находились под постоянным контролем. Первый серьезный объект, который изготовил завод с применением термоупрочненной стали в наиболее напряженных элементах было металлическое пролетное строение автодорожного моста через реку Смотрич в г.Каменец-Подольске. (см. рис.1).

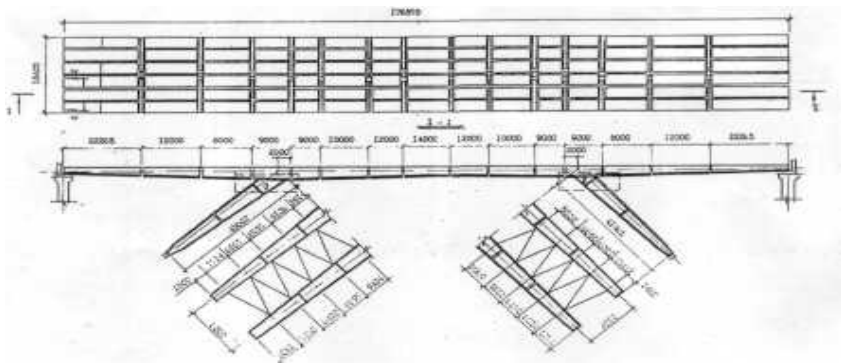


Рис. 1. Схема автодорожного моста через р. Смотрич в г. Каменец-Подольск

Для нижних поясов коробчатых балок этого моста применялась термоупрочненная сталь 14Х2ГМР с пределом текучести 590 МПа и химсоставом: C=0,14%; Si=0,1...0,37%; Mn=0,9...1,2%; Cr=1,3...1,7 %; Mo=0,4...0,5%; V=0,03%. Поставку ее в объеме ~ 120 т производил Коммунарский меткомбинат (лист от 10 до 28 мм толщиной). Это позволило сэкономить 75 т металлоконструкций, что составляет 15% объема моста. Несмотря на то, что участники изготовления и внедрения этой стали были в техническом отношении достаточно подготовлены, все-таки в процессе выполнения конкретных работ были серьезные трудности. Во-первых, входной контроль металлопроката показал несоответствие проката ТУ по механическим характеристикам. Листы были вновь отправлены в Коммунарск и прошли повторную термообработку с доведением мехсвойств до требований ТУ. Во-вторых, при автоматической сварке под флюсом начали появляться трещины. Особенно часто появлялись они в продольных стыковых швах. Пришлось провести научно-исследовательскую работу и, соответственно, изменить технологию сборки и сварки. Чаше стали делать скрепы проволокой СВ-08 ГА, служившие мягкой прокладкой в корне шва, увеличили длину крайних скрепов, уменьшили температуру предварительного подогрева, изменили форму выводных планок. Это позволило в дальнейшем производить сварку без трещин. Контроль наплавленного металла и околошовной зоны показал соответствие механических характеристик основному металлу. По ходу уточнилось, что неразрушающий контроль на наличие трещин должен быть ультразвуковой, т.к. рентгено- и гамма – контроль трещины не обнаруживал. Сварка производилась на прямой полярности, что позволило уменьшить содержание углерода в корне шва, а также улучшить форму шва. Само собой, конечно, требовался строгий контроль за прокалкой флюса, электродов, зачисткой металла до блеска. В целом металлоконструкции моста были поставлены в срок, смонтированы и вот уже более 30 лет работают без замечаний. А все наработки завода и ИЭС им. Е.О. Патона по технологии обращения с термоупрочненными сталями были распространены на другие заводы металлоконструкций и успешно применялись. Это относилось не только к сварке, а и к строжке, сверлению, правке.

В начале 70-х годов завод выполнял заказ на металлоконструкции моста через реку Старый Днепр а г. Запорожье, арки и стойки которого были запроектированы из стали с карбо-нитридным упрочнением 16Г2АФ с пределом текучести 450 МПа (см.рис 2).Здесь применялся листовой металлопрокат толщиной до 50 мм.

До начала работ были отработаны режимы сварки стыков на стандартных образцах. Исследование механических свойств сварных швов и околошовных зон показали, что тепловложения, превышающие 9...10 тыс. кал/см, снижают ударную вязкость металла в этих местах. Результаты испытаний сварки полуавтоматом в среде CO₂, проволокой

СВ-08Г2С Ø 1,6 мм показали, что этот вид сварки ударной вязкости не снижает. Поэтому доработки технологии сварки продолжались для получения гарантированной ударной вязкости сварного соединения. Здесь применялись и ранее опробованные «мягкие» прокладки, и прямая полярность на первый проход сварки, и замена флюса на флюс ФН-17 м.

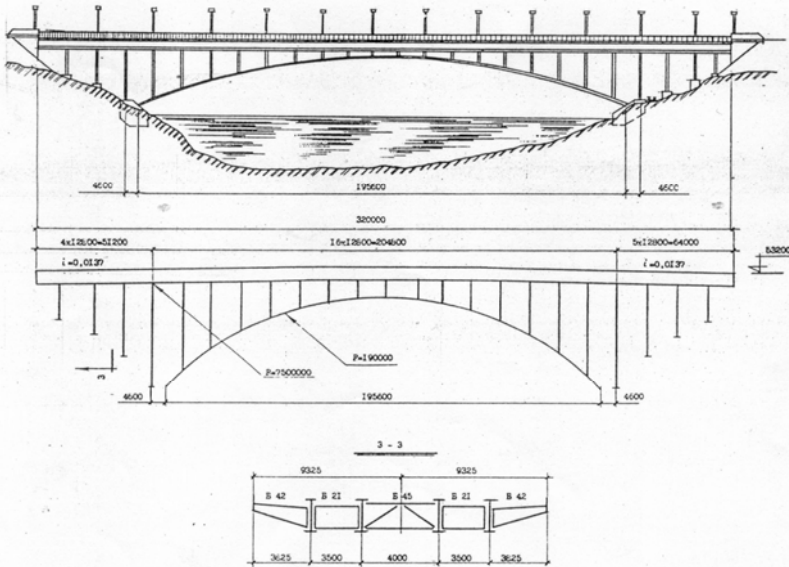


Рис. 2. Схема автодорожного моста через р. Старый Днепр в г. Запорожье

Отличительной особенностью при автоматической сварке этой стали под флюсом является требование обязательной выборки корня шва механическим путем перед наложением последующего шва. Но главной трудностью при сварке явилось наличие в стали толщиной свыше 32 мм большого количества строчечных неметаллических включений, которые не регламентировались в ТУ, но фиксировались как дефекты при ультразвуковом контроле соединения и околосшовной зоны. Это очень усложнило УЗК и заставило делать его повторно через 5-6 суток. Такая чрезмерно трудоемкая работа, а главное, неуверенность в результате, «охладила» к себе отношение инженерных служб и завод перестал работать с этой сталью, заменяя ее на сталь 14Г2АФ, гораздо более технологичную, хотя и имеющую несколько ниже значение предела текучести. Применяли ее десятками тысяч тонн, в т.ч. в Индию было поставлено около 6000 т. металлоконструкций из этой стали. А о стали 16Г2АФ стали забывать в области применения ее для строительных металлоконструкций, особенно после прискорбного случая появления трещин через несколько суток по готовности металлоконструкций

конвертерного цеха для Магнитогорского метзавода, металлоконструкции для которого готовил Челябинский завод металлоконструкций. Что касается моста в г. Запорожье, то он работает и сегодня, вот уже около 30 лет.

В начале 70-х годов термически упрочненный прокат получил широкое распространение. Из него изготавливались образцы и конструкции для испытаний в натуральную величину для ПГАСиА и некоторых заказчиков. Никаких технологических трудностей его внедрение больше не вызывало. В это же время осуществлялось строительство башни Киевского телецентра, наиболее напряженные элементы (пояса ствола и ног) которой были запроектированы из труб диаметром 550 мм, толщиной от 18 до 30 мм из высокопрочной стали 138 ИЗ (предел текучести 550 МПа) с заводскими и монтажными соединениями бесфасоночным способом. Несмотря на высокую сложность конструкций изготовление их не вызвало серьезных трудностей, т.к. было подготовлено заранее с участием проектного института и ИЭС им. Е.О. Патона. На этом объекте применялась не только специальная сталь для электросварных труб, но и электроды марки 48Н-1 для ручной сварки их стыков. Имевшийся опыт работы с высокопрочными сталями позволил заводу не только выполнить заказ с высоким качеством, но и исправить трубы, поступившие с большими деформациями и дефектами в продольных и поперечных швах.

Дальнейшее внедрение высокопрочных сталей продолжалось до 90-х годов. За это время была разработана технология изготовления металлоконструкций из экономнолегированных сталей, сталей термоупрочненных с прокатного нагрева и других перспективных сталей. Были внедрены в строящиеся объекты Приднестровья и Молдавии сотни тонн таких сталей. Однако этот процесс резко затормозился резким сокращением капитального строительства в стране в начале 90-х годов.

В настоящее время экономика страны ощутимо наращивает темпы производства. Определелись некоторые направления, где явно будут нужны высокопрочные термообработанные стали относительно невысокой стоимости. Этим требованиям сегодня отвечают стали 10Г2ФБ, 09Г2ФБ, исследования свойств которых проводятся кафедрами ПГАСиА. Особо перспективной можно считать сталь 06Г2Б (06Г2БД), которая содержит мало углерода, в 10 раз меньше серы и в 5 раз меньше фосфора, чем обычно. Это позволяет ей быть устойчивой к ламинарным расслоениям и соответствовать нулевому классу сплошности на толщинах в несколько десятков миллиметров, а также иметь низкий углеродистый эквивалент. Сталь имеет стабильные механические свойства, в т.ч. и по толщине проката, высокую хладостойкость ($KCV > 3000$ Дж/см²) при температуре = -70 °С и высокую технологичность при выполнении сварочных и других работ на заводе металлоконструкций. Кроме того, сталь обладает хорошей сопротивляемостью слоистому разрушению,

нечувствительна к водородному охрупчиванию и отличается высокой стойкостью против образования холодных трещин. В этом году из этой стали на заводе им. И.В. Бабушкина изготовлен двухстеночный резервуар объемом 75 тыс. м³, что позволило сэкономить 250 т металлопроката. Экономнолегированные стали повышенной прочности имеют перспективу внедрения в строительство высотных зданий, реконструкцию ранее построенных пятиэтажных жилых домов и в другие ответственные сварные металлоконструкции.

С 2004 г. Кабинет Министров Украины наметил резкое увеличение финансирования угольной промышленности, что потребует увеличения производства проката, имеющего предел текучести > 700 МПа, для изготовления механизированных шахтных крепей. Как известно, с их применением резко растет добыча угля, содержащего мало примесей, не требующего обогащения. Этому отвечает сталь 09ХГ2СЮЧ и другие, имеющие предел текучести 700-800 МПа.

Хорошая перспектива сегодня открываться для применения высокопрочных сталей в мостах. Учитывая уже известные мосты в Киеве - 2 шт., Николаеве, Запорожье, Новгород-Сиверском, необходимо учитывать также перспективу, по которой ЕБРР будет финансировать четыре направления автодорог по территории Украины. По нашему мнению, это много десятков тысяч тонн металлоконструкций автомобильных мостов. Серьезное положение сложилось в Украине с ж/д мостами, 20% которых по срокам эксплуатации подлежат выводу из числа действующих. Однако технической документации, по которой можно заказать новые пролетные строения взамен устаревших с учетом развития их на текущее время нет. Заказы дорогами производятся по типовым проектам, разработанным 35-40 лет тому назад в Москве и Ленинграде, устаревшим не только по применяемым материалам, но и по конструктивным решениям. Это приводит к чрезмерному удорожанию металлоконструкций мостов, а менять их с каждым годом необходимо будет все больше и больше. Проектные институты Украины системы Гипротранс, традиционно не проектировавшие ж/д мосты, за индивидуальные мосты не берутся, да и средств на это нет. Имеются некоторые наработки кафедр металлоконструкций ПГАСиА и мостов ДУЖДТ по применению в мостах современных материалов, конструктивно-технологической доработки мостов для резкого снижения стоимости их, а также перехода на скорость движения 200 км/час, но пока этот вопрос в Министерстве транспорта на рассматривается. Государственная дирекция железных дорог вот уже 10 лет не может заказать опытное пролетное строение пролетом 18 м из стали 06Г2БД для экспериментальной проверки новой конструкции и марки стали.

Опыт прошедших лет, когда внедрялись различные термообработанные высокопрочные стали, показывает, что внедрение их

в производство – процесс трудный, но решаемый там, где имеются квалифицированные кадры, способные решать такие задачи.

Анализируя прошедшие годы, не трудно заметить, что есть еще одна задача, которая может серьезным образом повлиять на экономное расходование металлопроката при изготовлении металлоконструкций. Дело в том, что металлостроители, имеющие в своем арсенале нормативные правила по расчету, изготовлению металлоконструкций из прямоугольных и круглых труб, оснащенные соответствующим оборудованием, вынуждены довольствоваться применением труб, предназначенных для технологических транспортировок жидкостей и газов из ст. 10, ст. 20. Прямоугольные трубы размером более чем 140х140 мм не выпускаются. А нужно было бы довести их сортамент до 350х350 мм из листа небольшой толщины и стали высокой прочности. Сейчас строятся небольшие здания, и можно уложиться в этот сортамент при проектировании и не затрачивать лишний металлопрокат. В коммунальной сфере, и это не является секретом, трубы на замену в тепло- и водопроводных сетях заказывают с толщиной стенки на 4-5 мм больше для продления времени на их коррозию. Эту проблему по выпуску защищенных от коррозии и не дорогих труб необходимо решать в срочном порядке.

Научных разработок в области применения термоупрочненных высокопрочных сталей в строительных конструкциях есть немало в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Потенциал их с каждым годом увеличивается, но востребуется он далеко не в полном объеме. При разворачивании техпереворужения в стране, привлекательные для инвесторов инвестиционные проекты есть у ученых ПГАСиА, а т.ч. и по внедрению термоупрочненных сталей.

1. Термическое упрочнение проката. / К.Ф.Стародубов, И.Г.Узлов, В.Я.Савенков и др. –М., Металлургия, 1970 – 368 с.
2. *Большаков В.И., Флоров И.К., и др.* Технология изготовления натуральных строительных ферм из термически упрочненного сортового проката на заводах металлических конструкций – Металлург. и горнорудн. пром. – 1978. – №4. – С 82-83.
3. *Большаков В.И.* Разработка и использование сталей повышенной и высокой прочности в строительстве./ Вісник Академії будівництва України. – 1997. – С 63-80.
4. *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, ПДАБ та А, 2002. —№12 – С. 4-7
5. *СНиП 11-23-81.* Нормы проектирования. Стальные конструкции. – М., 1990 г.
6. ГОСТ 27772 – 88. Стали для сварных конструкций. –М., 1988 г.
7. ТУ 14-16 – 150 – 99. Прокат листовой свариваемый из качественной стали. Министерство промполитики Украины.