Новое поколение катаных профилей из высокопрочной СТАЛИ

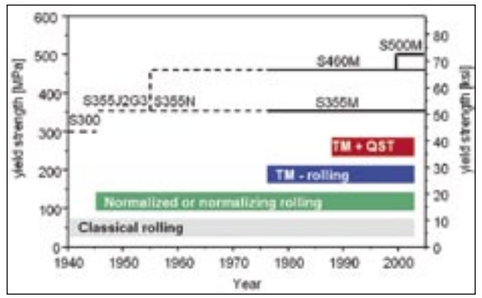
Уже несколько лет сталелитейный рынок развивается в направлении увеличения использования продукции с высокопрочными характеристиками: больших толщин, с более высоким пределом текучести и улучшенной вязкостью.

Традиционный метод производства высокопрочной стали заключается в добавлении легирующих элементов в массу и контроле температуры в ходе прокатки. Данный способ называется термомеханическим. Из-за ограниченного количества допустимых легирующих элементов и определенной мощности заводов сталь марки 355 МПа была лучшей из существующих.

Начиная с 1993 года инженеры-проектировщики смогли проектировать здания, в которых бы применялась высокопрочная сталь среднесортного и высокосортного проката.

На самом деле марки стали HISTAR 460 (HIgh STrength ARcelorMittal), попадающие под европейский стандарт EN 10025-1 и американский ASTM A 913/ A 913M (Описание стандарта для профилей из высокопрочной низколегированной стали, производящихся методом закалки с самоотпуском (QST)), дали возможность инженерам использовать стали марок 355 МПа и 460 МПа при проектировании зданий.

Процесс закалки с самоотпуском (далее – QST) значительно увеличивает предел текучести и прочность стали. Одновременно, благодаря гораздо меньшим электродным эквивалентам, данный процесс значительно улучшает свариваемость балок без потери вязкости.



Эволюция предела текучести начиная с 1940 года

ДВУТАВРОВЫЕ БАЛКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОМУ ЗАКАЗУ

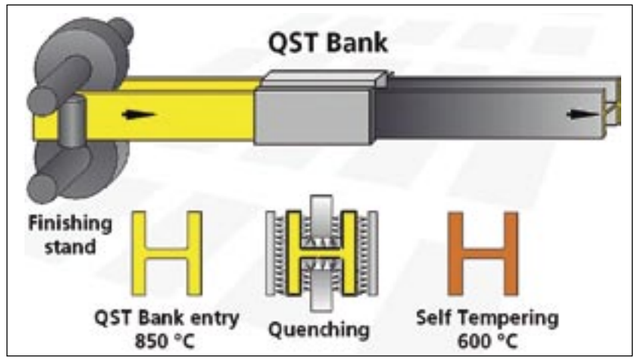
В 1979 году европейская группа ArcelorMittal (ранее ARBED) (http://www.arcelormittal.com) первой ввела на рынок двутавры с размерами по заказу клиента (WTM). Благодаря своим характеристикам они были хорошо приняты инженерами-строителями и заводами металлоконструкций, поскольку обладают отличными прочностными характеристиками и способны нести серьезные нагрузки.

ПРОЦЕСС ЗАКАЛКИ С САМООТПУСКОМ

Сейчас кроме балок, разработанных по индивидуальному заказу, компания предлагает самый большой выбор марок сталей, произведенных с применением нового процесса закалки. Суть этого процесса заключается в том, что балка после проката кратковременно охлаждается по всей поверхности – тем не менее внутри проката сохраняется тепло, которое

Текст ЖАН-КЛОД ЖЕРАРДИ, инженер-строитель
Комментарии АНТОН ЧУДАЕВ, менеджер по развитию ArcelorMittal, Москва

Жан-Клод Жерарди – инженер-проектировщик строительных конструкций Университета Льежа в Бельгии. Его карьера началась в1990 году в научно-исследовательском отделе ArcelorMittal (ранее называвшейся ARBED). В то время он также занимался разработкой Общеевропейских технических условий в области использования стальных и композиционных материалов. В период с 1993 по 1997 год он переезжает в Нью-Йорк, где работает в качестве представителя заказчика и консультанта по использованию стальных конструкций в высотных зданиях, фермах и мостах. Он представлял такие компании, как ARBED, AWS (Американское общество специалистов по сварке), AISC (Американский институт стальных конструкций), а также SSPC (Совет производителей стальных профилей). В 1997–2000 годах инженер возвращается в Европу. Работает менеджером по продажам крупносерийной продукции в страны Востока, Ближнего Востока, Африки и в Индию. Проработав на должности генерального директора Интернет-платформы по распространению сети Arcelor, Жан-Клод Жерарди в 2003 году занимает пост директора по продажам металлоконструкций в страны Дальнего Востока. В 2005 году он переезжает в Стамбул, где становится генеральным директором по продажам продукции ArcelorMittal в страны Ближнего Востока. С 2007 года Жерарди является консультантом по техническим вопросам по странам Восточной Европы.



изнутри отогревает прокатанный профиль к поверхности балки. Тем самым достигается однородная структура стали, что обеспечивает хорошее сочетание прочности, эластичности и ударной вязкости. Обязательным условием удачного закаливания таким способом является однородная температура всей балки перед охлаждением. Это достигается путем предварительного охлаждения самой горячей части двутавра, а точнее стыков. Применяя метод выборочного охлаждения в местах стыковки, можно достичь равномерности температуры всей балки. Данный процесс полностью контролируется компьютером.

ВЫБОРОЧНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Выше схематически показан процесс закалки с самоотпуском. На выходе из чистовой клети и до попадания в устройство охлаждения температура двутавра составляет около 850°С. После охлаждения всей поверхности температура балки становится 600°С (температура, необходимая для самоотпуска).

ХАРАКТЕРИСТИКИ QST СТАЛЕЙ

В табл. 1 сравниваются механические свойства наиболее популярных марок европейской стали с марками сталей HISTAR.

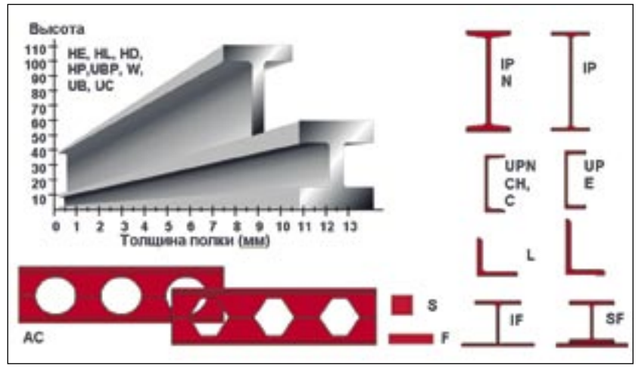
ДОСТУПНЫЕ РАЗМЕРЫ

Компания ArcelorMittal поставляет полный перечень профилей с характеристиками от 80 до 1100 мм и от 4,9 кг/м до 1086 кг/м в соответствии различными мировыми стандартами: европейским (EN, IPE, HE, IPN, HD), американским (ASTM, W, S, HP), британским (BS UB, UC).

Производство сортового проката ArcelorMittal также характеризуется широким диапазоном профилей, формирующих несколько серий с различными геометрическими характеристиками: нормальные двутавры (IPE, IPN, W); широкополочные двутавры (HE, HL, HP, W); колонные двутавры (HD, W); швеллер (UPE, UAP, U); уголок (L). Полный список всех характеристик доступен на сайте: www.arcelormittal.com/sections.

Если рассмотреть размеры профилей, производимых в России, то они очень схожи с европейскими, но превосходство профилей европейского производства очевидно, так как они обладают большим количеством типоразмеров.

Процесс закалки



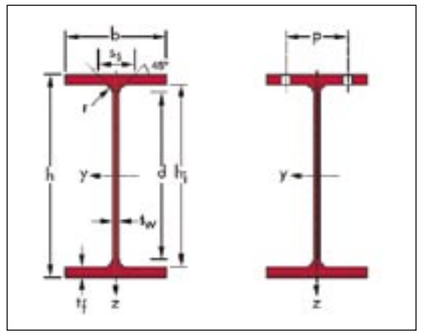
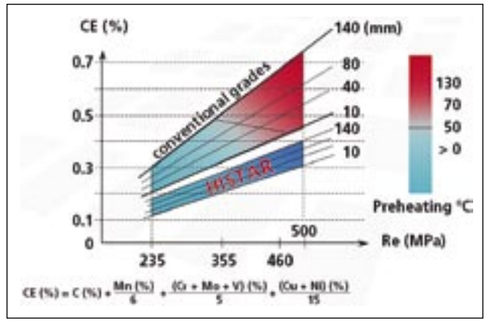


Таблица 1

Марка стали	Предел текучести, МПа						Предел прочности, МПа		Относительное удлинение при разрыве, %
	Номинальная толщина полки, мм						Номинальная толщина, мм		
	до 16	16–40	40–63	63–80	80–100	100–125	3–100	100–125	
S235	235	225	215	215	215	195	340–370		22
S275	275	265	255	245	235	225	410–560	400–540	18
S355	355	345	335	325	315	295	490–630	470–630	18
S355	355	345	335	335	335	335	450–610		18
S460	460	440	430	430	430	430	530–720		22
Histar 355	355						470–610		22
Histar 460	460			450			550–720		17

СВАРИВАЕМОСТЬ

В 1998 году марки стали ASTM A913/ 345 МПа и 450 Мпа были занесены в свод «Американского общества специалистов по сварке» как «пригодные к сварке без предварительного нагрева» при использовании низководородных (< 8 мл /100 г) электродов и наружной температуре выше 0°С. Ограничение максимального угольного эквивалента (0/38 и 0/43) в марке ASTM A913 гарантирует превосходную свариваемость сталей HISTAR.



Стыковка посредством сварки двух самых крупноразмерных на сегодняшний день профилей (400x1086 кг/м) марки QST 460 может быть осуществлена без предварительного нагрева. Для выполнения такой стыковки сварщику приходилось делать 140 проходов, чтобы сварить две балки. Сейчас, благодаря новой технологии закалки, ему не приходится предварительно нагревать балки, что позволяет сэкономить до четырех часов работы. Так как двутавры самых крупных размеров можно сваривать без предварительного нагрева, двутавры меньших размеров также можно сваривать без подогрева. Раньше для того, чтобы сварить две балки А572 марки стали 50, требовался предварительный нагрев до 110°С.

В КАКОМ СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ СТАЛЬ А913/ HISTAR?

HISTAR 355 и А913/345 МПа

HISTAR 355 и А913/345 МПа следует использовать вместо обычных сталей S355 или ASTM A572/50 МПа во всех случаях, когда процесс сварки требует предварительного нагрева, так как это дает возможность экономить время и пропан, необходимые для предварительного нагрева.

ASTM A913/450 МПА / HISTAR 460

Несущие опоры

В случае если остаточная деформация или проблемы вибрации не влияют на проект, применение в несущих опорах со стандартной длиной балки (обычно менее 5,5 м) стали HISTAR 460 позволяет инженерам сократить вес и стоимость конструкции. Действительно, использование стали HISTAR 460 позволяет значительно уменьшить размеры несущих опор. Вес опор в среднем сокращается на 15% по сравнению с опорами из стали 355 МПа и более чем на 45% по сравнению с опорами из стали 245 МПа. Практически все здания с бетонным ядром, несущим все

Таблица 2

	Профили российского и европейского производства, классифицированные по модулю упругости, $W_{el,y}$						
		G	h	b	t_w	t_f	$W_{el,y}$
Стандарт	Обозначение	кг/м	мм	мм	мм	мм	мм ^{3}
							x10^3
EN	HE 100 B	20,4	100	100	6	10	89,91
EN	HE 120 A	19,9	114	120	5	8	106,3
Гост	16Б2	15,8	160	82	5	7,4	108,7
EN	IPE 160	15,8	160	82	5,0	7,4	109
EN	HE 140 AA	18,1	128	140	4,3	6	112,4
EN	IPE AA 180	14,9	176,4	91	4,3	6,2	116
Гост	18Б1	15,4	177	91	4,3	6,5	120,1
EN	IPE A 180	15,4	177	91	4,3	6,5	120
EN	HE 100 C	30,9	110	103	9	15	137,9
EN	HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	144,1
Гост	18Б2	18,8	180	91	5,3	8	146,3
EN	IPE 180	18,8	180	91	5,3	8,0	146
EN	HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	155,4
EN	IPE AA 200	18,0	196,4	100	4,5	6,7	156
EN	IPE A 200	18,4	197	100	4,5	7,0	162
EN	IPE O 180+	21,3	182	92	6,0	9,0	165
EN	HE 160 AA	23,8	148	160	4,5	7	173,4
EN	HE 100 M	41,8	120	106	12	20	190,4
Гост	20Б1	22,4	200	100	5,6	8,5	194,3
EN	IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	194
EN	IPE AA 220	21,2	216,4	110	4,7	7,4	205
EN	IPE A 220	22,2	217	110	5,0	7,7	214
EN	HE 120 C	39,2	130	123	9,5	16	213,6
EN	HE 140 B	33,7	140	140	7	12	215,6
EN	IPE O 200	25,1	202	102	6,2	9,5	219
EN	HE 160 A	30,4	152	160	6	9	220,1
EN	HE 180 AA	28,7	167	180	5	7,5	235,6

Башня «Евразия», (участок № 12). Металлокаркас здания

Металлопрокатные цеха сталелитейной компании ArcelorMittal

поперечные нагрузки, также могут быть спроектированы с использованием опор из стали HISTAR 460. Данная марка стали может также применяться при изготовлении опор для заводов, несущих высокие нагрузки.

«Москва-Сити», башня ENKA (участок № 10)

ФЕРМЫ

Лучшее применение стали HISTAR 460 или A913/450 МПа – в балках, работающих на растяжение, – таких, как стандартный нижний пояс фермы, или коротких балках, работающих на сжатие, – таких, как верхние пояса фермы. Применение HISTAR 460 в фермах обеспечивает сокращение их веса на 15% по сравнению со стандартными фермами из стали 355 МПа. Это сокращение в весе зависит от расстояния между опорами ферм. К примеру, для нового сборочного цеха «Боинг 777», недалеко от Сиэтла, сокращение в весе составило 35% за счет использования стали марки HISTAR 460 вместо 355 МПа и большого расстояния между опорами ферм (108 м). Этот проект, построенный в 1991 году, стал первым в США, где использовались балки QST.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Использование сталей HISTAR 460 и 355 дает возможность спроектировать рамную конструкцию, в основе которой лежит принцип «прочная колонна – слабая балка». Такие конструкции обычно используются на западном побережье США.

В сочетании с уменьшенным сечением балки (RBS) такой принцип позволяет создать 100% сейсмостойкую конструкцию. RBS была запатентована компанией ArcelorMittal (ARBED) в 1989 году. После землетрясения Northridge компания решила обнародовать этот патент, для того чтобы предложить данный принцип инженерному сообществу.

МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ

Благодаря высокому сопротивлению крупному излому при низких температурах (до –50°С) и великолепной свариваемости, стали HISTAR 355, 460 или A913 являются идеальными для изготовления морских платформ, особенно в холодных зонах.

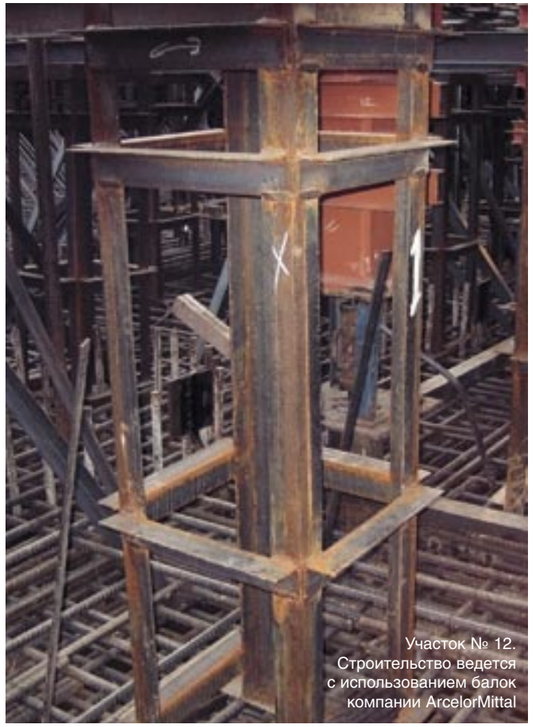
HISTAR В РОССИИ

Стали HISTAR одобрены ЦНИИПСК им. Мельникова, ЦНИИСК им. Кучеренко, так как удовлетворяют не только обязательным требованиям СНиП, но и рекомендательным требованиям свода правил СП 53-102-2004.

Полный отчет можно получить, отправив письмо по адресу anton.chudaev@arcelormittal.com.

Сегодня ArcelorMittal International в качестве поставщика проката участвует в высотном строительстве ряда зданий на территории ответственного объекта Москвы – делового комплекса «Москва-Сити».

В 2005 году компания подписала договор о поставке стали, маркированной HISTAR Russia (такое название марка получила, поскольку была создана специально для холодного московского климата), для строительства башни концерна ENKA в ММДЦ «Москва-Сити». В результате в том же году порядка 10 тыс. тонн металла было поставлено в Турцию на завод металлоконструкций, оттуда колонные двутавры из марок сталей HISTAR 355 и HISTAR 460 в виде металлоконструкций были привезены в Россию и смонтированы на третьем здании участка № 10.



Участок № 12. Строительство ведется с использованием балок компании ArcelorMittal

В 2006 году следующим объектом стал участок № 12 ММДЦ (заказчик – «Техинвест», генподрядчик – ENKA). Тогда на турецкий завод было доставлено 12 тыс. тонн стальной продукции, в том числе колонные двутавры и балки перекрытий. Сегодня идет поставка металлоконструкций на данный объект в России.

Третьим зданием, в строительстве которого принимает участие ArcelorMittal, является башня «А» комплекса «Федерация» (участок № 13).

Новые высокопрочные марки стали, такие как HISTAR, сегодня уже доступны на мировом рынке. Эти стали обладают характеристиками, которых еще два года назад было невозможно достичь: высокий предел текучести (до 450 МПа) для прокатных профилей с толщиной полки до 125 мм, высокая прочность сопротивления излому при температурах до –50°С, а также гораздо более низкий угольный эквивалент, улучшающий свариваемость без потери вязкости.

С 1993 года многие инженеры-проектировщики осознали потенциал катаных профилей из высокопрочных сталей. Последние грандиозные проекты в Москве указывают на то, что данные марки стали вскоре станут очень популярны в России. ■

Башня «А» комплекса «Федерация» (участок № 13)