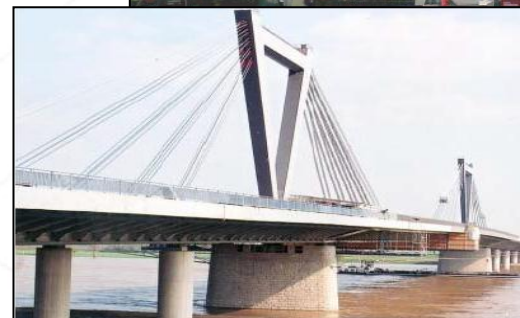


Снижение затрат в строительстве путем применения новых высокопрочных марок конструкционной стали

Владислав Горбатенко,
Кандидат технических наук
Департамент по развитию продуктов и рынков
ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»



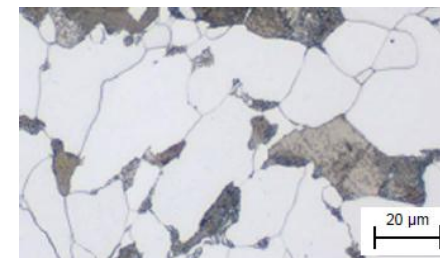
- ❁ Термомеханическая контролируемая прокатка (TMCP – Thermo-Mechanical Controlled Process) - инновационная технология прокатки, при которой конечная мелкозернистая микроструктура металла достигается микролегированием, прокаткой в диапазоне температур 900-700°C и контролируемым охлаждением. Данный вид производства проката отличается от других способов отсутствием дополнительной термообработки вне потока и минимальным использованием легирующих элементов.
- ❁ TMCP-процесс активно применяется с 80-х г.г. XX в. и является наиболее перспективной технологией для получения проката высокой прочности. В отличие от стандартных технологий прокатки TMCP-процесс позволяет получить уникальную мелкозернистую структуру металла, которая обеспечивает высокую прочность и хорошую формуемость. TMCP-прокат имеет низкий углеродный эквивалент, что обуславливает хорошую свариваемость.
- ❁ TMCP-прокат широко применяется в областях техники, где требуется снижение веса металлоконструкций с одновременным повышением прочностных характеристик (строительство, ветрогенерация, судостроение, машиностроение). Благодаря высокой прочности, свариваемости и устойчивости к хрупкому растрескиванию прокат может применяться в конструкциях с температурой эксплуатации до -50°C с гарантированными значениями ударной вязкости.



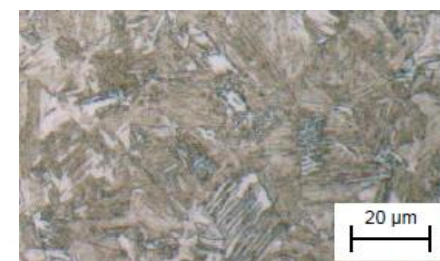
Основные схемы процессов производства г/к проката

Структура стали	Температура	Вид процесса					
		Обычные виды обработки стали				Термомеханическая прокатка	
		AR	N	CR(NR)	QT	TM (TMCP)	TMCP+ACC
Рекристаллизованный аустенит	Температура сляба Температура нормализации или закалки 900°C						
Нерекристаллизованный аустенит	Температура окончания прокатки 800°C 700°C						
Аустенит + феррит	Ar3 или Ac3						
Аустенит + феррит или феррит + бейнит	Ar1 или Ac1 Температура отпуска						
Условные обозначения: AR – процесс прокатки, соответствующий получению стали в горячекатаном состоянии (As Rolled) N – нормализация (Normalizing) CR(NR) – контролируемая прокатка (Controlled Rolling/Normalizing Rolling) QT – закалка с отпуском (Quenching and Tempering) TM – термомеханическая обработка (термомеханическая контролируемая прокатка) (Thermo-Mechanical Rolling/Thermo-Mechanical Controlled Process) R – деформация (*) – температура двухфазной области аустенита и феррита ACC – ускоренное охлаждение (Accelerated Cooling)							

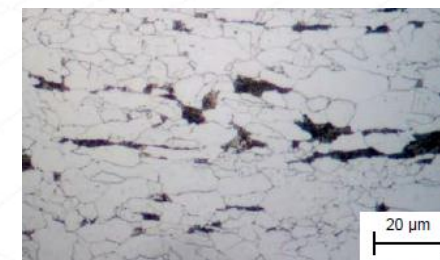
Микроструктура стали после различных видов обработки



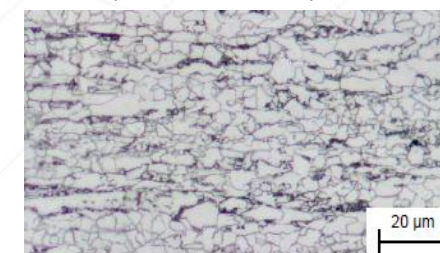
Нормализация



Закалка с отпуском



Термомеханическая прокатка



Термомеханическая прокатка с контролируемым охлаждением

- **Горячая прокатка** – прокатка стали при высокой температуре с последующим охлаждением на воздухе. Температуры прокатки и окончания прокатки типично в области температуры рекристаллизации аустенита и выше температуры нормализации
- **Нормализующая прокатка** - технология прокатки, при которой окончательная деформация выполняется в диапазоне температуры нормализации с полной рекристаллизацией аустенита
- **Q&T (закалка с отпуском)** - вид термообработки, направленный на получение в металле повышенного уровня свойств. Закалка включает в себя нагрев до заданной температуры, свыше A_{c3} , выдержку и последующее быстрое охлаждение водой. Для снятия внутренних напряжений после закалки прокат подвергается отпуску, температура которого регулируется в зависимости от требуемых свойств.
- **TMCP** – процесс, предполагающий строгий контроль температуры и степени деформации во время прокатки. Свойства, полученные после TMCP, не могут быть воспроизведены нормализацией или другими видами термообработки.



Выплавка стали в кислородном конвертере



Внепечная обработка стали



Разливка стали на МНЛЗ



Отделка проката, контроль качества

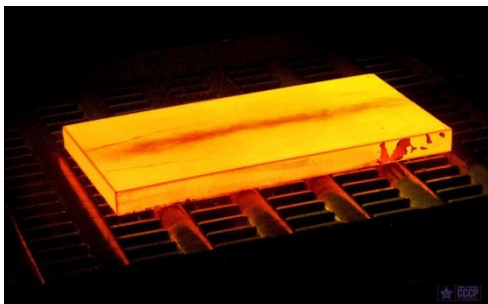


Контролируемое охлаждение



Прокатка

В условиях Группы **МЕТИНВЕСТ** листовой ТМСР прокат производится в соответствии со стандартом ДСТУ EN 10025-4:2007 и другой нормативно-технической документацией на МК «АЗОВСТАЛЬ» и ММК им. Ильича



Преимущества ТМСР проката

Свойства:

1. Химический состав – **низкий углеродный эквивалент**
2. Механические характеристики – **высокая прочность, высокая ударная вязкость**



Экономия:

1. **Сокращение затрат на переработку** – уменьшение затрат на сварочные материалы и нагрев металла, отсутствие дополнительной т/о
2. **Снижение веса металлоконструкций** в сравнении с традиционными марками

Химический состав стали класса прочности 460 МПа

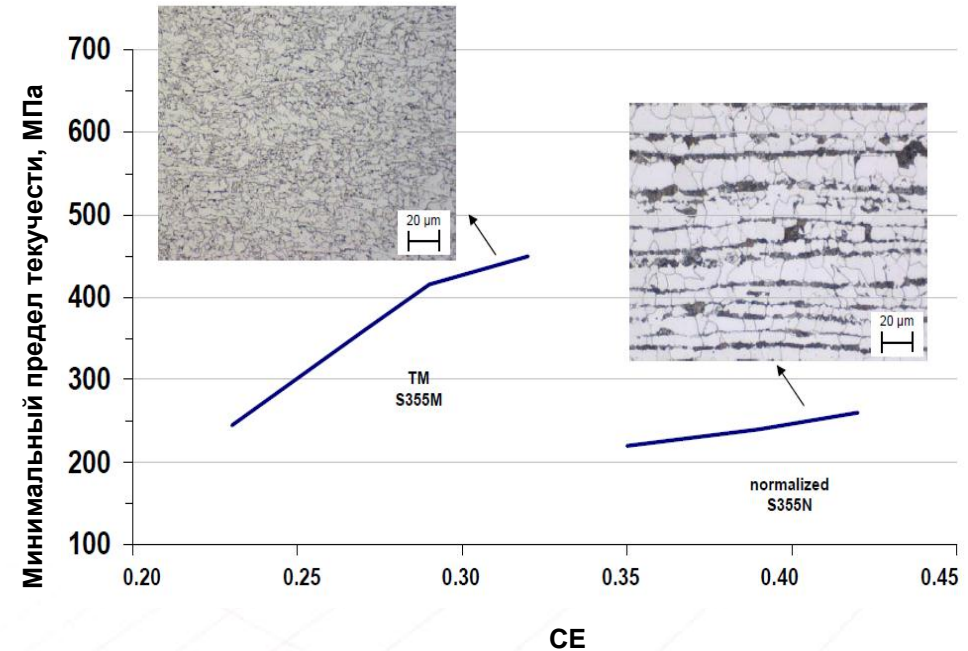
	Массовая доля элемента, %			
	S460N ДСТУ EN 10025-3:2007 (нормализация)		S460M ДСТУ EN 10025-4:2007 (ТМСП)	
	Требования стандарта	Фактическое среднее значение	Требования стандарта	Фактическое среднее значение
C	≤ 0,20	0,17	≤ 0,16	0,12
Mn	1,00 - 1,70	1,60	≤ 1,70	1,59
Si	≤ 0,60	0,26	≤ 0,60	0,28
S	≤ 0,020	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
Cu	≤ 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
CET	≤ 0,44	0,35	≤ 0,41	0,28

Углеродные эквиваленты:

$$CE = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

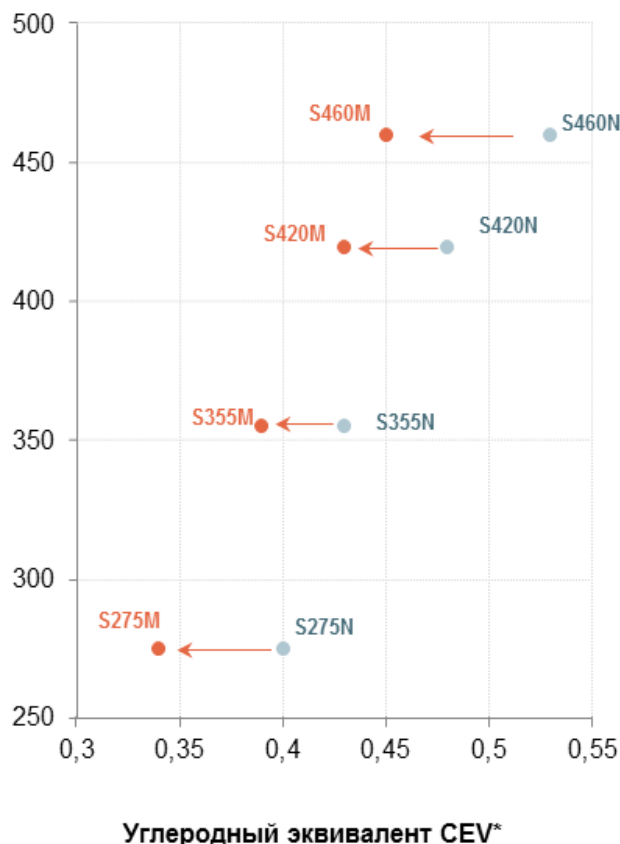
$$CET = C + (Mn+Mo)/10 + (Cr+Cu)/20 + Ni/40$$

Типичные углеродные эквиваленты и микроструктура нормализованной и термомеханически упрочненной сталей



Процесс ТМСП позволяет получать заданные высокие механические свойства проката с улучшенными показателями свариваемости и формования при более низких издержках (экономия на легировании).

Предел текучести (МПа)



* для толщин менее 16мм показатели из ДСТУ EN 10025-4:2007 и ДСТУ EN 10025-3:2007

M - TMCP
N - нормализация

Влияние углеродного эквивалента (CET) на температуру предварительного нагрева металла рассчитывается по EN 1011-2 по формуле:

$$T_{pCET} = 750 \times CET - 150 (^{\circ}\text{C}),$$

где $CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$

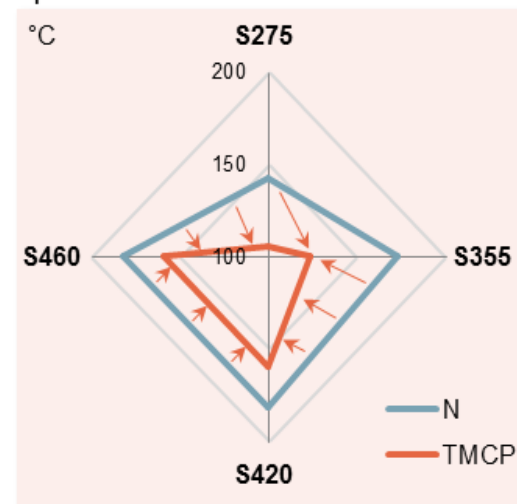
Таким образом, увеличение CET на 0.01% приводит к росту температуры предварительного нагрева на 7,5°C

Например, при замене конструкционной стали S355N, прошедшей стандартную для данного типа сталей нормализацию в потоке, на сталь S355M, произведённую по технологии TMCP, снижение температуры предварительного нагрева составит:



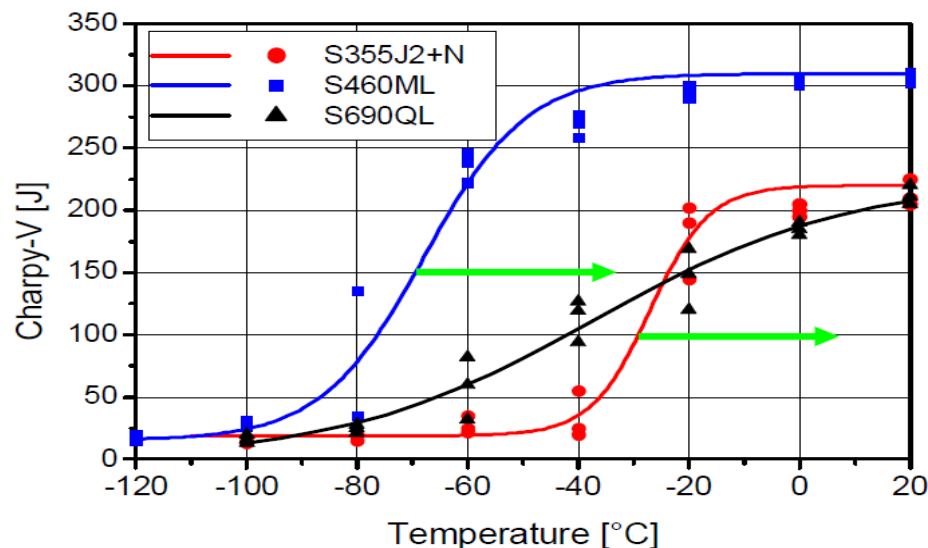
-50°C

Влияние углеродного эквивалента на температуру предварительного нагрева для различных классов прочности



Использование TMCP проката позволяет снизить издержки при его переработке путем исключения стадии предварительного нагрева металла либо значительного снижения температуры нагрева.

Результаты теста Шарпи¹ для сталей
после различных видов обработки (Н, ТМСП, З+О)



Эффект замещения нормализованного проката из
стали S355 на термомеханически упрочненный прокат S460²



Уменьшение
толщины на 24%



Сокращение
объемов сварочных
работ на 42%

Термомеханическое упрочнение обеспечивает:

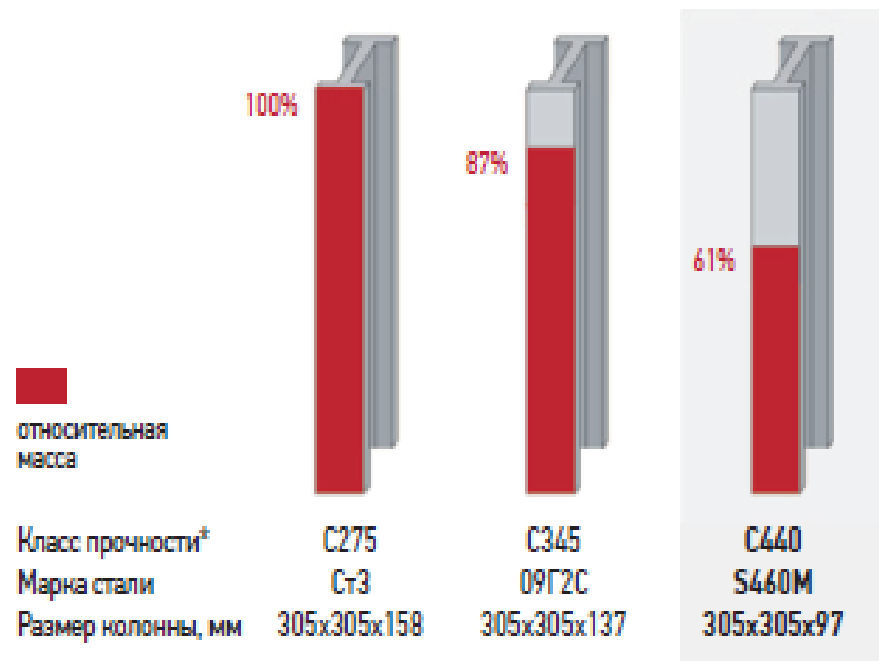
- ✓ Непрерывность производства (осуществляется в потоке прокатных станов) с обеспечением высокой производительности труда;
- ✓ Экономии энергетических ресурсов (закалка производится с использованием тепла прокатного нагрева с самоотпуском после прерванного охлаждения);
- ✓ Экономии материальных ресурсов (упрочнение позволяет снизить расход дефицитных легирующих элементов для легирования стали и металлопроката при изготовлении конструкций и машин из него);
- ✓ Повышение в 1,5–2,0 раза прочность стального проката, существенное увеличение его вязкости (в т.ч. и при отрицательных температурах) и усталостных характеристик;
- ✓ Повышение стойкости стали к хрупкому разрушению. Трещиностойкость термомеханически упрочненного углеродистого проката всегда выше, чем у горячекатаного. Она также выше, чем у низколегированного горячекатаного проката равной прочности.

Использование ТМСП проката повышенной прочности позволяет снизить общую металлоемкость изделий, а также материальные и трудовые затраты при его переработке.

¹ данные Dillinger

² информация Voestalpine

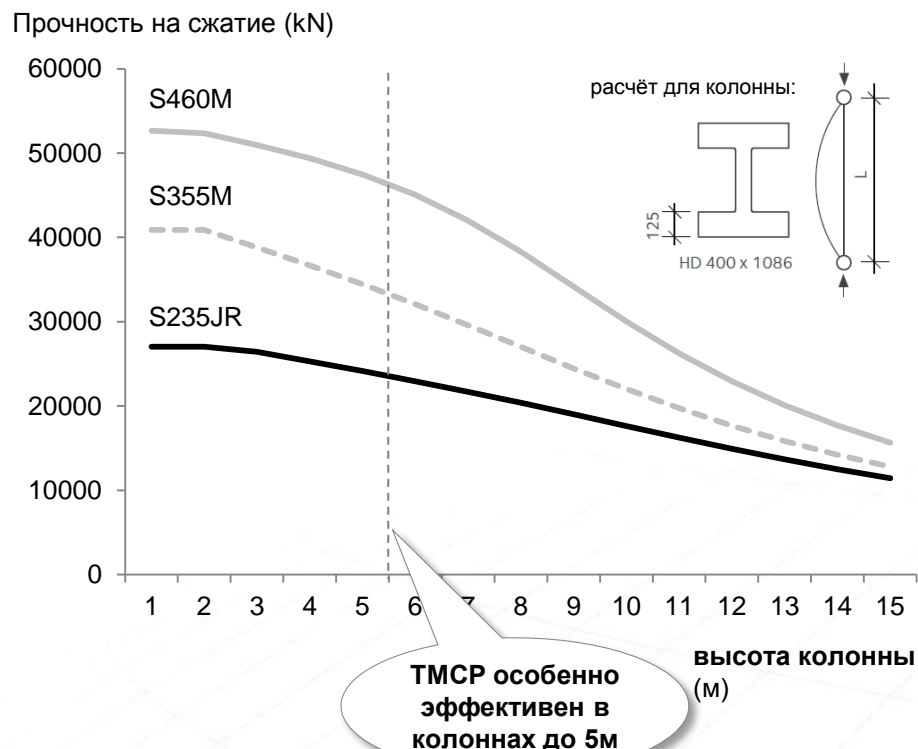
Применение ТМСПР-проката в колоннах зданий



* Согласно ГОСТ 27772-88

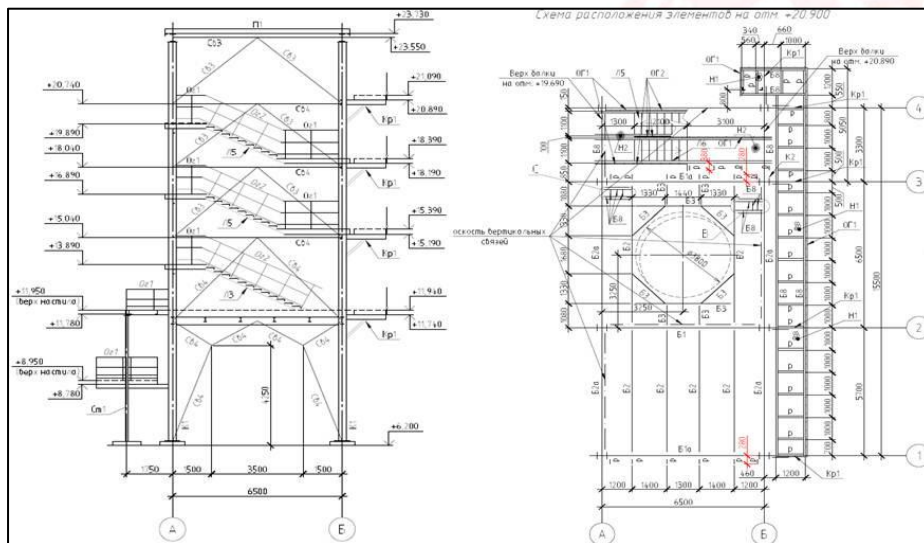
** Расчетная нагрузка – 4250 кН

Зависимость прочности на сжатие и высоты колонны



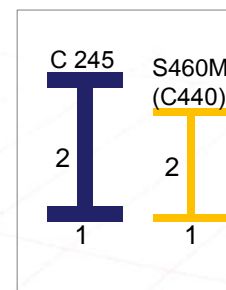
Замена обычных конструкционных марок стали на высокопрочные ТМСПР-марки позволяет почти в 2 раза снизить металлоёмкость строительных конструкций: за счёт использования колонн с меньшей толщиной стенки и полук при аналогичных показателях прочности на сжатие

- ООО «Гипрометз» выполнило тестовый расчет объекта распределительного устройства доменной печи №3 ПАО ЕМЗ в комплексе сооружений установки пылеугольного вдувания. Цель работ - определение возможных зон применения стали S460M в зданиях каркасного типа. Основные несущие конструкции каркаса выполнены из составных сварных двутавров, материал конструкций - сталь класса С245. Исследована возможность замены этих элементов на составные сварные двутавры из стали S460M (класс прочности С440 по ГОСТ 27772). Расчет конструкций выполнен в пространственной модели методом конечных элементов по программе SCAD.
- Определяющими являются показатели расчета по второму предельному состоянию, ввиду чего перспективной для применения проката из данной марки стали может быть расчетная схема каркаса с жесткими соединениями элементов в узлах. Сравнительный анализ на основании расчета показывает экономию для элементов с жесткими соединениями в узлах **33,52%**.



Сечения колонн и балок идентичного применения из стали С245 и С440

	Сталь С245 $R_y=2450 \text{ кг/см}^2$	Сталь С440 $R_y=4400 \text{ кг/см}^2$
K1	1-276*8 2-300*12	1-220*8 2-240*10
K2	1-360*12 2-300*20	1-368*10 2-260*16
K3	1-360*12 2-400*20	1-368*10 2-260*16
Балки на отм. +11.650, +15.200, +18.200, +20.900	1-368*10 2-250*16	1-300*8 2-200*10
Балки покрытия	1-368*10 2-200*16	1-280*8 2-200*10

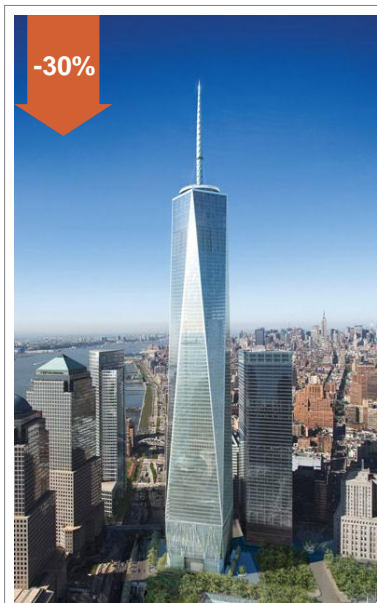


Общий вес конструкций

	Сталь С245 $R_y=2450 \text{ кг/см}^2$	Сталь С440 $R_y=4400 \text{ кг/см}^2$
K1	2,52	1,76
K2	12,7	9,3
K3	0,73	0,43
Б1а	6,81	3,7
Б11 и Б5	2,1	1,3
Б9	1,9	1,3
Всего	26,76	17,79

Снижение металлоемкости конструкций при применении стали S460M (C440) взамен С245 составляет **33,52%**

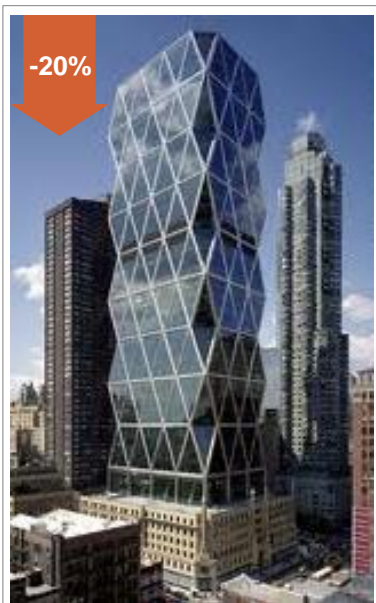
Применение ТМСП-проката в современных коммерческих зданиях

Всемирный торговый Центр

Местоположение:
г. Нью-Йорк, США

Год завершения строительства:
2014 (план)

Высота: 541м
Количество этажей: 104

Башня Хёрста

Местоположение:
г. Нью-Йорк, США

Год завершения строительства:
2002

Высота: 201м
Количество этажей: 47

Мапфре Башня

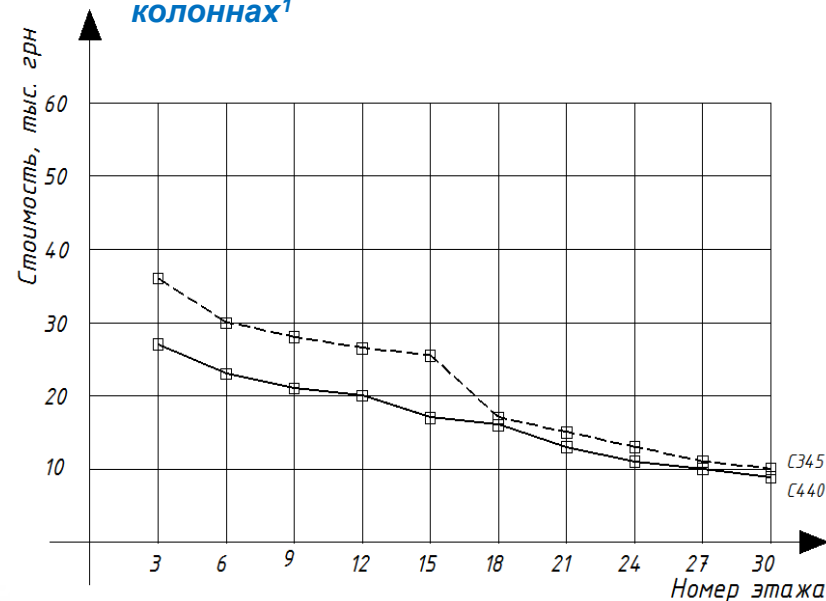
Местоположение:
г. Барселона, Испания

Год завершения строительства:
1992

Высота: 154м
Количество этажей: 42



Снижение веса металлоконструкций здания в результате использования высокопрочного ТМСП-проката

Эффективность использования стали повышенной прочности в сварных колоннах¹

¹ данные Киевского национального университета строительства и архитектуры

Использование ТМСП-проката в колоннах современных высотных зданий коммерческого назначения позволяет достичь 20-30% экономии металлопроката

Активное применение ТМСП-проката в мостостроении в ЕвропеМост Эрасмус

Местоположение:
г. Роттердам, Нидерланды

Макс. высота: 139м
Ширина: н.д.
Длина: 802м

Год завершения строительства: 1996

Вес металлоконструкций: 6 800т

4 200т листа марки S355M

Эресуннский мост

Местоположение:
г. Мальмо, Швеция – г. Копенгаген,
Дания

Макс. высота: 203,5м
Ширина: 23,5м
Длина: 7 845м

Год завершения строительства: 2000

Вес металлоконструкций: 82 000т

60 000т листа марки S460M
16 000т листа марки S420M

Мост Ильверич

Местоположение:
г. Дюссельдорф, Германия

Макс. высота: н.д.
Ширина: 33м
Длина: 5 910м

Год завершения строительства: 2002

Вес металлоконструкций: 7 500т

(вкл. лист марки S460M)

Мост Enneüs Heerma

Местоположение:
г. Амстердам, Нидерланды

Макс. высота: 26м
Ширина: 38м
Длина: 230м

Год завершения строительства: 2001

Вес металлоконструкций: 2 480т

(вкл. лист марки S460M)



- Горячая формовка (с температурой выше 580 °С) **недопустима**, т.к. приводит к потере механических свойств и структурных преимуществ ТМСП проката.



- Холодная формовка возможна.
- «Теплая» формовка рекомендуется при температурах до 580 °С



- Значительное снижение либо исключение предварительного нагрева
- Отсутствие дополнительных сварочных операций
- Сокращение времени производства
- Невысокая твердость зоны сварного шва ввиду низкого углеродного эквивалента, низкая склонность к образованию холодных сварочных трещин



- Отсутствие необходимости дополнительной термической обработки после сварки

1. Сформирован склад термомеханического листового проката на СМЦ г. Киев (8...40 x 2000 x 6000 мм) для поставки клиентам малыми партиями
2. Крупные партии отгружаются вагонными нормами в адрес заказчика через сбытовые структуры МИХ
3. Расширяется марочный и размерный сортамент ТМСП проката, выпускаемого на активах Холдинга (освоен прокат S460ML, потенциально возможно освоение марок вплоть до S700MC)
4. Совместно с институтом Патона и ведущими производителями сварочных материалов разрабатываются технологические инструкции по сварке термомеханически упрочненного проката
5. В рамках деятельности Украинского Центра Стального Строительства ведутся работы по пересмотру нормативно-технической строительной документации (ДБН В.2.6-163:2010) с внесением термомеханически упрочненного сортамента в перечень применяемых марок

Технические возможности МЕТИНВЕСТ в производстве ТМСП проката

Стандарт	Марка	Размер	Применение
ДСТУ EN 10025-4:2007	S275M/ML, S355M/ML, S420M/ML, S460M/ML	6-50 x 1500-3200 x 6000-12000 мм	Строительство зданий и сооружений Мостостроение Электростанции

СЕРТИФИКАТ
КОНТРОЛЬ ПРОДУКЦИИ В СООТВЕТСТВИИ
С DIN EN 10025-1:2005, ПРИЛОЖЕНИЕ ZA

Сертификационная организация по строительным материалам TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG настоящим подтверждает в соответствии с Директивой 89/106/ЕЕС Совета Европейских Сообществ от 21 декабря 1988г. о соответствии законов, нормативов и административных положений государства-участников, которые имеют отношение к строительным изделиям (Директива по строительным изделиям - CPD), с поправками в соответствии с Директивой 93/68/ЕЕС Совета Европейских Сообществ от 22 июля 1993г., внедренной в Германии Актom 6 строительных изделий (BauPG) от 28 апреля 1998г. с самой последней поправкой статей 8a Акта от 5 января 2004г., что произведена компанией

ОАО «МК Азовсталь»
87500 г. Мариуполь,
Украина

строительная продукция

Горячекатаные листы из конструкционных сталей с уровнем прочности от S235 до S460 в соответствии с DIN EN 10025-2, -3, -4 (редакция 2005г.)

была подвергнута изготовителем первичным испытаниям и внутриваровским производственным испытаниям, а также дополнительным испытаниям проб, отобранных на предприятии в соответствии с установленным планом испытаний. Уполномоченный орган - TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, сертификационная организация по строительным изделиям для металлических конструкций - осуществил первоначальный осмотр предприятия и провел внутриваровские производственные испытания, а также на постоянной основе осуществляет контроль, оценку и одобрение внутриваровских производственных испытаний.

Сертификат № 0045-CPD-0696

Сертификат, выданный согласно Акту о строительных изделиях, применяется при условии, что стандарт, с которым в Германии вводится гармонизированный стандарт, был опубликован в издании Federal Gazette, условия гармонизированной технической спецификации были указаны и условия производства на предприятии или внутриваровские производственные испытания не претерпели значительных изменений.

Гамбург, 20.12.2010г.

Примечание по сроку действия:
Действителен до 31.12.2015г.

TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31
D-22525 Hamburg
Germany

Статус редакции:
Ред. 02 / 2010-12-20

тел. +49 (0) 40-6587-2368
факс: +49 (0) 40-6587-2710
email: hmesse@tuv-nord.de

Гессе
Начальник сертификационной организации - Строительные изделия для металлических конструкций - TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
Уполномоченный орган, код 0045

CERTIFICATE
RY PRODUCTION CONTROL ACCORDING TO
OF DIN EN 10025-1:2005 AND DIN EN 10219-1:2006

Construction materials of the TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG confirms hereby in accordance with the Council of the European Communities dated 21 December 1988 on regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products (CPD), amended by Directive 93/68/EEC of the Council of the 22 July 1993, implemented in Germany by the Construction Products Act (BauPG) recently amended by Article 8a of the Act dated 5 January 2004, that the by the

ISC Illich Iron & Steel Works
1, Lavchenko Street
87504 Mariupol
Ukraine

Hot rolled plates and coils from structural steels S235 up to S460 acc. to DIN EN 10025-2, -3, -4 (edition 2005) and longitudinal welded tubes (Process 27 - EN ISO 4063) from structural steels S235 up to S355 according to appendix A of DIN EN 10219-1:2006.

designs an initial product test and in-plant production test by the manufacturer as well as taken from the plant according to a test testing plan. This initial body - TÜV NORD examination body Construction Products for Metal Structure - has carried out as initial as well the in-plant production test and is carrying out ongoing monitoring, assessment production testing.

Certificate-No.: 0045-CPD-0611

as the Construction Products Act applies with the proviso that the standard, with which is implemented in Germany, has been published in the Federal Gazette and the technical specification used and the production conditions is the plant or the information subsequently modified.

Гамбург, 20.12.2010г.

Примечание по сроку действия:
Действителен до 31.12.2015г.

TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31
D-22525 Hamburg
Germany

Статус редакции:
Ред. 02 / 2010-12-20

тел. +49 (0) 40-6587-2368
факс: +49 (0) 40-6587-2710
email: hmesse@tuv-nord.de

Гессе
Начальник сертификационной организации - Строительные изделия для металлических конструкций - TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
Уполномоченный орган, код 0045

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ



ПРИЛОЖЕНИЯ



- Прокатка раскатов толщиной до 16 мм в чистовой клети производится по режимам термомеханической прокатки с ограничением температуры начала прокатки в пределах 840-870°C и конца прокатки в пределах 730-740 °C.
- Прокатка раскатов толщиной 16 мм и более в чистовой клети осуществляется по режимам термомеханической прокатки с ограничением температуры начала и конца прокатки в соответствии с таблицей.
- Раскаты толщиной 16 мм и более подвергаются ускоренному охлаждению в соответствии с ТИ 232-46 по режимам, приведенным в таблице.

Контролируемый параметр	Толщина листов, мм		
	16-20	20,1-30	30,1-50
Температура нагрева, °С	1160-1180		
Черновая стадия	Без ограничения		
Толщина подката для чистовой клети, мм	54-56	80-82	90-92
Чистовая стадия			
Температура начала прокатки, °С	860-900		
Температура раската перед последним пропуском, °С	790-810		
Ускоренное охлаждение			
Температура начала охлаждения, °С	760-780	770-790	780-800
Температура конца охлаждения, °С	580±25		
Интенсивность охлаждения, °К/с	10±2		8±2

- Листы подвергаются ПФО в штабеле в соответствии с требованиями ТИ 232-97.
- Отбор проб и испытания осуществляются в соответствии с требованиями заказа и EN 10025-4.