

КОРРОЗИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ В ПОДКОНСТРУКЦИЯХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развивается новое направление применения металлических материалов в строительстве — навесные вентилируемые фасады (НВФ). В них сочетаются ограждающие и несущие свойства. Для профилей в этих конструкциях оказалось возможным применить сплавы типа АД31 в искусственно состаренном состоянии (Т1).

Учитывая перспективность нового направления по использованию алюминиевых сплавов в строительстве, был проведен детальный анализ их коррозионной стойкости на основе исследований ОАО «ВИЛС» в природных условиях и испытаний в лаборатории образцов и узлов систем навесных вентилируемых фасадов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Исследовались прессованные профили сплавов АД31Т1 толщиной 2 и 4 мм и сплава 6063Т6 толщиной 2 мм, алюминий марки АД0 Н и крепежи, полуфабрикаты, детали из сталей 12Х18Н10Т и 08Х18Т1. Химический состав и исходные механические свойства этих материалов соответствовали требованиям стандартов. Испытания проводились в атмосферных условиях различной агрессивности (табл. 1) и ускоренными методами на общую коррозию, коррозионное растрескивание (КР) и расслаивающую коррозию (РСК).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Результаты атмосферных испытаний.

Испытания на атмосферных станциях продолжаются уже более 45 лет, однако в настоящее время мы располагаем такими результатами только на одной промышлен-

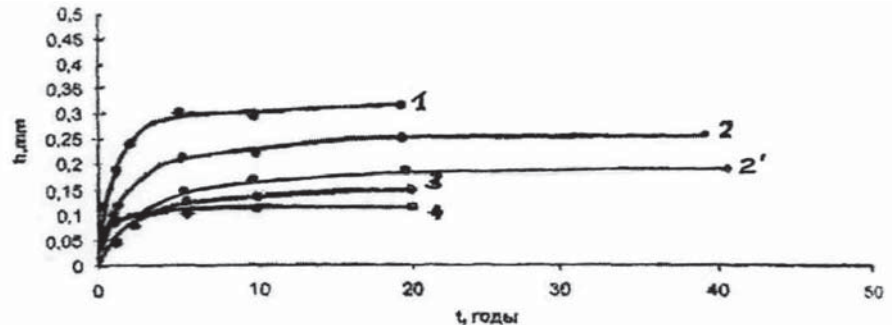


Рис. 1. Зависимость максимальной глубины питтинговой коррозии на сплаве АД31Т1 (1, 2, 3, 4) и алюминия АД0 Н (21) от продолжительности испытаний в различных атмосферных условиях: 1 — поб. Баренцева моря; 2 — промышленная (ВИЛС); 3 — поб. Черного моря; 4 — сельская (г. Звенигород)

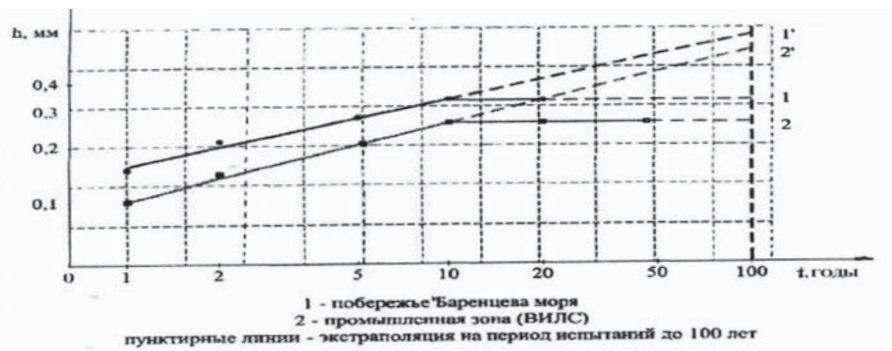


Рис. 2. Зависимость максимальной глубины питтинговой коррозии на сплаве АД31Т1 от продолжительности испытаний в логарифмических координатах

ной станции средней агрессивности. Для других станций имеются данные за 20 лет испытаний.

Во всех перечисленных условиях сплав АД31Т1 и алюминий АД0 Н подвергались исключительно питтинговой коррозии. Максимальная глубина ее была пропорциональна агрессивности станции и возрастала в порядке (мм) 3—0,14; Б—0,16; В—0,26; С—0,32 (рис. 1). Таким образом, в среднеагрессивной атмосфере глубина питтинго-

вой коррозии возрастала не более чем в два раза по сравнению со слабоагрессивной.

Как показали наши многочисленные испытания в других местах и непосредственный анализ коррозионного состояния некоторых работающих зданий, а также по литературным данным в многочисленных точках земного шара, глубина коррозии алюминиевых сплавов этого типа укладывается в интервале между кривыми 1 и 4, показанными на рис. 1. По кинетическим зависимостям хорошо видно, что развитие коррозии в атмосферных условиях любой агрессивности закономерно и очень сильно тормозится во времени. До 10 лет эти кривые достаточно хорошо могут быть представлены в виде степенной функции [1]. В логарифмических координатах такая зависимость выражается в виде прямых, удобных для прогнозирования (рис. 2). Однако, как показал анализ результатов, полученных после 20 лет выдержки, эти данные не укладывались в установленную зависимость и практически мало отличались от значений, полученных за 10 лет. Возникло предположение, что процесс электрохимического растворения в питтингах с максимальной глубиной прекратился. Результа-

Табл. 1. Характеристика мест испытаний

Места испытаний	Содержание агрессивных примесей		Примечание
	SC>2, мг/м	Cl-, мг/м ² сут.	
Звенигородская атмосферная станция (З)	0,017	0,16	Чистая сельская атмосфера (слабоагрессивная)
Промышленная атмосферная станция, территория ВИЛС (В)	0,5	0,7	Могут быть другие агрессивные примеси типа кислот, щелочей и различного вида солей (среднеагрессивная)
Южная приморская станция, г. Батуми, поб. Черного моря (Б)	0,021	2,3	Субтропики. Высокая влажность. Рекордное количество дождей (слабоагрессивная)
Северная приморская станция, поб. Баренцева моря (С)		10–12	Холодный влажный климат. Сильный ветер с моря (среднеагрессивная)
Палуба научно-исследовательского судна (НИС). Экспедиции по Индийскому океану		> 50	Морские тропики. Высокая температура, попадание брызг морской воды (сильноагрессивная)

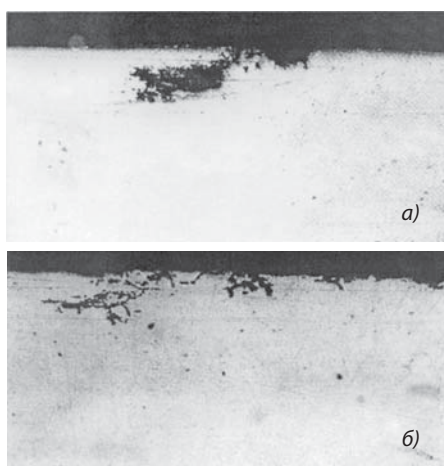


Фото 1. Характер коррозии профилей из сплава АД31 после 40 лет испытаний в промышленной атмосфере х 200: а) состояние Т, транскристаллитный питтинг; б) состояние Т1, межкристаллитный питтинг

ты, полученные за период > 45 лет, подтвердили этот эффект. Как показали электрохимические исследования, такое явление происходит из-за репассивации поверхности питтингов.

Из построенных на рис. 2 прогнозных линий видно, что, исходя из линейной зависимости, глубина питтинговой коррозии сплава АД31Т1 на промышленной станции «ВИЛСа» должна составлять 0,5 мм через 50 лет. С учетом электрохимического торможения после 10 лет она должна составить 0,26 мм, что полностью соответствует полученным в экспериментах данным.

При этом кинетика развития коррозии не зависит от характера распространения

путей коррозии в питтинге. Например, на сплаве АД31 в состоянии Т1 и Т вид коррозионных поражений заметно отличается (фото 1), тем не менее торможение процесса в обоих случаях было очевидным до полного прекращения роста коррозии в глубину. Таким образом, сплав АД31Т1 и алюминий имеют, по результатам длительных испытаний в соответствии с классификацией стандарта ГОСТ 52-72-50, высокую коррозионную стойкость и относятся к группе весьма стойких (2 балла) или совершенно стойких (1 балл).

Такой вывод убедительно подтверждается данными за 45 лет по потерям механических свойств, которые не превышали для АД31Т1, 6063Т6 и АД0 Н по прочности 5%, что находится в пределах разброса значений свойственного механическим испытаниям (табл. 2). Полученные результаты дают все основания полагать, что сплавы АД31Т1, 6063Т6 и алюминий АД0 Н можно широко применять практически в любых типичных атмосферных условиях без ограничений и в том числе без защиты продолжительностью более 50 лет.

По нашим и литературным данным [1, 2], контакт испытанных алюминиевых сплавов с нержавеющей сталью 12Х18Н10Т в чистой или промышленной атмосфере, а также на побережье Черного моря не опасен и практически не обнаруживается на испытанных образцах. Для усиления эффекта гальванической коррозии специально были проведены исследования сплава АД31Т1 в особо агрессивных условиях на палубе НИС.

Увеличение глубины питтинговой кор-

розии на сплаве АД31Т1 в контакте с аустенитной сталью достигает 40%. При этом максимальная глубина питтингов на расстоянии 7 мм от места контакта составляла не более 0,4 мм (табл. 3) и существенно не оказывала отрицательного влияния на прочность соединения.

Крепеж из стали 12Х18Н10Т за это время активно корродировал и покрывался ржавчиной. Внешний вид крепежа из титана практически не изменился.

2. Анализ коррозионного состояния строительных конструкций.

Анализировалось состояние 2-х зданий из алюминиевых сплавов. Первое проектировалось и монтировалось как здание КБ. Второе — производственное помещение для закалочных печей. Здание КБ эксплуатируется более 50 лет. Обшивка выполнена из листа толщиной 1,2 мм сплава АМц (табл. 4). По механическим свойствам это слабо нагартованный материал (возможно, при правке). Судя по уровню механических свойств, за 50 лет эксплуатации они не изменились. Характер коррозии — транскристаллитный питтинг максимальной глубиной 154 мкм. Силовой каркас изготовлен из профилей толщиной 2,7 мм. Профили близки по составу и по свойствам к АД31Т1. Характер коррозии — транскристаллитный питтинг с признаками межкристаллитной коррозии; максимальная глубина — 210 мкм. Как и для обшивки, механические свойства практически не изменились.

Здание закалки облицовано листом толщиной 0,8 мм из сплава АМг2 полунагартованного. Характер коррозии — транскристаллитный питтинг, ориентированный вдоль прокатки; максимальная глубина — до 140 мкм. При длительности эксплуатации более 55 лет механические свойства также практически не изменились. Коррозии в местах соединений не обнаружено.

Таким образом, установлена полная корреляция между длительными испытаниями образцов и анализом состояния строительных конструкций, работающих в тех же условиях — промышленной атмосфере средней агрессивности. Оба здания функционируют в настоящее время. ●

(Продолжение следует)

Материал статьи был представлен на международной конференции «Алюминий-21/Отделка и покрытия»

31 мая–2 июня 2011 г.

(организатор — «Алюсил-МВиТ»).

В. С. СИНЯВСКИЙ, д. т. н.,

В. Д. КАЛИНИН, к. т. н. (ОАО «ВИЛС»)

Список литературы

1. Синявский В. С., Вальков В. Д., Калинин В. Д. «Коррозия и защита алюминиевых сплавов». — М.: «Металлургия», 1986 г.

2. Розенфельд И. А. «Коррозия и защита металлов». — М.: «Металлургия», 1969 г.

Табл. 2. Изменение механических свойств профилей сплава АД31Т1 после испытаний в промышленной атмосфере «ВИЛС»

Длительность, годы	Состояние	Толщина, мм	Исходные после 10 лет хранения в помещении			После испытаний			Абсолютные потери			Относительные потери		
			σв, кгс/мм ²	σ0,2, кгс/мм ²	δ, %	σ _р , кгс/мм ²	σ0,2, кгс/мм ²	δ, %	Δσ _в , кгс/мм ²	Δσ0,2, кгс/мм ²	Δδ, %	σв, %	σ, 0,2, %	δ, %
45	T1	2	27,7	24,7	14,7	26,7	24,2	14,4	1	0,5	0,3	3,5	2	2
40	T1	2,5	23,7	19,7	16,4	23,4	18,5	15	0	1,2	1,4	0	6	7

Табл. 3. Гальваническая (контактная) коррозия сплава АД31Т1

Контактирующий материал	Максимальная глубина вне контакта, мм h _в	Максимальная глубина в контакте, мм h _к	h _в /h _к
12Х18Н10Т		0,4	1,4
Титан		0,32	1,1
АД0 Н		0,32	1,1
АД31Т1	0,29		

Табл. 4. Коррозионные и механические характеристики эксплуатируемых строительных конструкций

Сплавы, полуфабрикаты	Максимальная глубина, мкм	Механические свойства после эксплуатации			Характер коррозии
		кгс/мм	σ0,2, кгс/мм	δ, %	
АМцМ, лист толщ. 1,2 мм	154	11,6	9,7	16	Транскристаллитный питтинг
АД31Т1, профиль толщ. 2,7 мм	210	26,8	18,1	12,7	Транскристаллитный питтинг с признаками МКК
АМг2Н, лист толщ. 0,8 мм	140	25,5	21,5	5,4	Транскристаллитный питтинг

КОРРОЗИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ В ПОДКОНСТРУКЦИЯХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

(Окончание. Начало в №6, 2011 г.)

РЕЗУЛЬТАТЫ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Как показали длительные атмосферные испытания в самых различных атмосферных условиях, признаков РСК на образцах сплава АД31Т1 не было.

Специально проведенная проба на РСК в двух стандартных растворах подтвердила эти данные и показала полное отсутствие признаков РСК на сплавах АД31Т1 и 6063Т6 (табл. 1).

Другой важной характеристикой, в основном определяющей коррозионную стойкость алюминиевых сплавов, является чувствительность к КР. Испытания двух видов образцов, фиксирующих появление коррозионных трещин и скорость их развития, показали полный иммунитет сплава АД31Т1 к такому опасному структурному виду, как КР (табл. 2).

Результаты ускоренных испытаний на общую коррозию дают основания считать, что наш отечественный сплав АД31Т1 и его аналог, сплав 6063Т6, изготовленный по американскому стандарту, принципиально по коррозионной стойкости не различаются.

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В соответствии с ГОСТ 56-32-72, понятием «коррозионностойкие стали» объединяются легированные стали различного класса: аустенитные стали типа 12Х18Н10Т (304), ферритные стали 08Х18Т1, 08Х17Т, 430 и др. Однако их коррозионная стойкость и другие характеристики существенно отличаются, поэтому неправильный выбор марки стали может привести к нежелательным последствиям.

Нержавеющие стали аустенитного типа имеют обычно достаточно высокую коррозионную стойкость, сопоставимую с коррозионной стойкостью алюминиевых сплавов. В агрессивной промышленной атмосфере на стали типа 304 S16 (12Х18Н10Т)

коррозионные потери были в 1,5–2 раза меньше, чем на алюминиевом сплаве [3]. При эксплуатации в промышленной и морской атмосфере на аустенитных сталях появляется налет грязно-коричневого цвета, поэтому этот класс сталей нуждается в постоянном уходе и внимании. Считается, что изменение цвета поверхности происходит в результате образования очень тонкой сетки ржавчины по границам зерен кристаллов, которые в атмосферных условиях имеют склонность к межкристаллитной коррозии [4]. Промывка конструкции в этих случаях делается не только для сохранения декоративного вида, но даже в большей степени для удаления агрессивных отложений на поверхности металла, которые вызывают во влажной среде коррозию. Так, специальные исследования показали, что при эксплуатации конструкций на палубе морских катеров в морской атмосфере вовремя не удаленный солевой налет вызывает в щелях и несплошностях деталей из сталей аустенитного класса (резьба на болтах, зазоры под шайбами, канатные тросы и т. д.) сильную щелевую коррозию [5].

Необычно высокая чувствительность нержавеющих сталей к щелевой и туннельного типа коррозии отмечалась также в условиях обрызгивания металла морской водой (прибойная зона) и в зоне морского прилива. На это необходимо обратить внимание, поскольку силовые элементы навесного каркаса эксплуатируются в замкнутом пространстве, где на поверхности металла, особенно в зазорах и щелях, будут со временем накапливаться агрессивные загрязнения, удаление которых в этом случае затруднено.

Нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н10Т в исходном состоянии не чувствительна к КР. После сварки чувствительность к КР появляется у этой стали. Поэтому детали, которые могут применяться только в сварном состоянии, не следует применять в подконструкции вентилируемых фасадов.

Таким образом, коррозионное поведение аустенитных сталей может быть в определенных условиях эксплуатации неустойчивым и непредсказуемым. За рубежом применение сталей такого типа в строительстве ограничено. В последнее время аустенитные стали обычно используются с добавкой молибдена. При содержании молибдена 2,6% по массе площадь поражений питтинговой коррозией составляет всего 0,01% при потерях массы на два порядка меньше.

Ферритная сталь по сравнению с аустенитной при оценке питтинговой коррозии по площади поражений в 10 раз менее стойкая, а по потерям массы — в 1,5 раза. Испытания на КР сварных соединений, выполненных точечной сваркой из сплава А1S1 430 (08Х18Т1), показали его высокую чувствительность в зоне сварного шва к МКК и ускоренному разрушению при напряжениях 0,75 и 0,5 $\sigma_{0,2}$ исходного металла.

Специальный образец 12Х18Н10Т-А1S1430, сваренный точечной сваркой из разнородных металлов, взятый из реальной конструкции, разрушился со стороны А1S1 430 при нагрузке 19 кг/см² за 14 суток с межкристаллитным характером растрескивания. Таким образом, ферритные стали типа 08Х18Т1 и 08Х17Т не следует применять в подконструкциях вентилируемых фасадов. Они значительно более чувствительны к питтинговой коррозии, чем аустенитные, на них значительно быстрее образуется обычная ржавчина. Они не рекомендуются для сварки и для конструкций, работающих при температурах ниже – 20 °С.

Как видно на рис. 1, хромистые стали очень чувствительны к хладноломкости. Такая чувствительность в определенных условиях может проявиться даже в области положительных или нулевых температур.

Выводы

1. На основе 45-летних испытаний, в различных климатических зонах, в тропиках, на исследовательском судне, а также лабораторных исследований показано, что прессованные профили из сплавов 6063Т6 и АД31Т1 не чувствительны к расслаивающей коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением — двум видам коррозии, отсутствие которых определяет надежную, длительную (более 50 лет) эксплуатацию навесных фасадных систем (НФС) без защитных покрытий.

2. Питтинговая коррозия, которая свойственна пассивирующимся сплавам, в том

Табл. 1. Результаты испытаний на расслаивающую коррозию

Методика 1						Методика 2			
Сплав	Состояние	Стандарты	Характер коррозии	Оценка, баллы	Заключение	Стандарты	Характер коррозии	Оценка	Заключение
АД31	Т1	ГОСТ 9.904-82, ISO 11881	Питтинговая	3	РСК отсутствует	ASTM G 34	Питтинговая	Р	РСК отсутствует
6063	Т6	"	"	3	"	"	"	Р	"

Табл. 2. Результаты испытаний на КР профилей сплава АД31Т1

Образцы круглые без надреза			Образцы плоские с усталостной трещиной		
Направление вырезки	Напряжение, кгс/мм ²	Результат	Направление вырезки	Коэффициент интенсивности напряжений, кгс/мм ^{3/2}	Результат
Поперечное (П)	15	Из 10 образцов не разрушился ни один	Высотное (ВД)	60	Трещины не развиваются ни на одном из 5 испытанных образцов

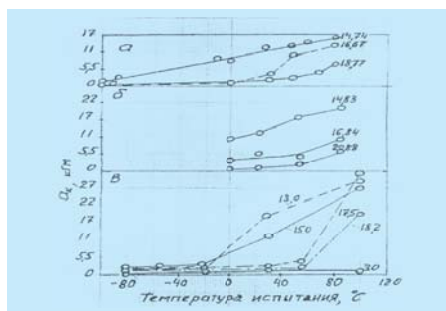


Рис.1. Изменение ударной вязкости хромистых сталей в зависимости от содержания хрома, углерода и температуры испытания (цифры у кривых — содержание хрома, %): а — сталь с 0,2% С; б — с 0,10% С; в — с 0,01% С

числе и аустенитной стали типа 12Х18Н10Т, у алюминиевого сплава 6063Т6 после 10 лет выдержки в наиболее агрессивной атмосфере достигает в отдельных редких точках 0,3 мм. При дальнейшем увеличении выдержки до 45 и более лет развитие питтинговой коррозии в глубину практически полностью прекращается за счет электрохимического торможения (репассивации). Об-

разовавшиеся коррозионные питтинги не влияют на механические свойства и, соответственно, на работоспособность изделий.

3. Гальваническая (контактная) коррозия в сплавах типа АД31Т1 в контакте с аустенитной сталью 12Х18Н10Т в промышленной и сельской атмосфере, а также в приморской атмосфере Черного моря практически не заметна. В тропиках на палубе корабля при постоянном обливании морской водой она увеличивается несущественно: глубина отдельных питтингов возрастает на 30 – 40% в зоне до 7 мм от линии контакта. Это не сказывается на работоспособности изделий.

4. Прогнозы показывают, что НФС, выполненные из сплавов типа 6063Т6 и АД31Т1 с кляммерами и крепежом из стали 12Х18Н10Т, обеспечат длительность эксплуатации НФС до 50 – 100 лет. НФС из стали 12Х18Н10Т не обеспечат долговечность более 25 лет из-за чувствительности сварных соединений этой стали к коррозионному у растрескиванию.

5. Ферритные стали типа 08Х18Т1 не пригодны для НФС из-за низкой коррози-

онной стойкости и недопустимы для изделий, которые могут эксплуатироваться при температуре ниже – 20 °С.

Материал статьи был представлен на Международной конференции «Алюминий-21/Отделка и покрытия» 31 мая — 2 июня 2011 г. (организатор — «Алюсил-МВиТ»).

В. С. СИНЯВСКИЙ, д. т. н.,
В. Д. КАЛИНИН, к. т. н.
ОАО «ВИАС»

Литература

- Синявский В. С., Вальков В. Д., Калинин В. Д. «Коррозия и защита алюминиевых сплавов». — М.: «Металлургия», 1986 г.
- Розенфельд И. А. «Коррозия и защита металлов». — М.: «Металлургия», 1969 г.
- «Коррозия». Справочник. Перевод с англ. Под ред. Синявского В. С. — М.: «Металлургия», 1981 г.
- Химушин Ф. Ф. «Нержавеющие стали». — М.: «Металлургия», 1967 г.
- «Морская коррозия». Справочник. Под ред. Шумахера М. — М.: «Металлургия», 1983 г.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ & ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА

31 января – 3 февраля 2012

- Оконные технологии
- Строительные материалы и оборудование
- Инструменты и крепеж
- Бетоны. Растворы. Бетонные заводы

Забронируйте свой стенд сейчас!
www.sibbuild.ru

14 февраля – 17 февраля 2012

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Бассейны и сауны
- Натуральный и искусственный камень
- Инженерное оборудование
- Электрика. Системы автоматизации зданий

Одобрено

Организаторы ITE Сибирь
тел.: +7 (383) 363 00 63
sibbuild@sibfair.ru

Генеральный информационный спонсор **BLIZKO** РЕМОНТ

Генеральный интернет-партнер **tybet.ru** **STROKA.RU**

Организационный партнер **Стройгаза** группа газет

При содействии: МВЦ «Novosibirsk expo centre»

Информационные партнеры **Орбита** **Строительные материалы** **Строительные материалы XXI** **Кровли** **ПРОФИЛЬ** **Строительство** **Сильные группы газет** **UDC**