

## КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СТАЛИ ДЛЯ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

Х. ХАХУЛЬ\*

*Использование коррозионностойких сталей в архитектуре для сооружения фасадов — традиция с длительной историей. Их высокая прочность при одновременно превосходной способности к формованию предоставляет и в будущем новые возможности для творчества. Так, например, с помощью технологии гидроформования экономически эффективным способом можно получать новые, эстетически привлекательные фасадные изделия. Кроме множества новых рельефных изображений или раскрасок, составные пластины из коррозионностойкой стали относятся к самым интересным инновационным разработкам. С помощью простых средств удастся отобразить индивидуальные особенности фасада, что делает материал современным на все времена.*

*Ключевые слова: коррозионностойкие стали, архитектура, фасад зданий, каркас, срок службы, механические свойства, высокая прочность.*

Использование коррозионностойкой стали в качестве фасадного материала является традицией с длительной историей.

### Коррозионностойкая сталь: свойства и марки

Если в основу положить расчетный срок службы каркаса здания, то одним из важнейших свойств материала является почти безграничный ресурс при высокой стойкости поверхности к механическим и химическим воздействиям. Кроме того, характерной особенностью материала является отсутствие необходимости в дополнительном лакокрасочном покрытии. Более того, поверхность коррозионностойкой стали, как ни один другой стальной материал, имеет неповторимый собственный блеск. В архитектурном контексте это свойство называется порядочностью материала, и его можно усилить и облагородить с помощью дополнительных опций кондиционирования поверхности (например, травлением или формированием рельефа), что дает проектировщику дополнительные возможности в создании архитектурного облика.

Кроме описанных выше прочностных свойств поверхности, следует также отметить, что изнашивание или повреждение с течением времени не сказывается на долговечности деталей: они, если для соответствующих условий был сделан правильный выбор марки коррозионностойкой ста-

ли, не ржавеют. Без сомнения, для проектировщика это свойство является одним из важнейших качеств, которое даже в современных архитектурных дебатах об устойчивом развитии не утратило своей актуальности. Однако благородный вид и долговечность материала тесно связаны с другими качествами, которые проектировщик не всегда воспринимает с таким же восторгом. Например, такое механическое свойство, как прочность, связано с преимущественной способностью материала к деформации и в равной степени — с большими усилиями. Кроме того, часто высокая стоимость материала также препятствует дальнейшему расширению областей его применения, так как не всегда стремление к благородному облику сопровождается соответствующим финансированием. Этот факт требует от проектировщика осознанного применения данных материалов.

### Фасады из коррозионностойкой стали в архитектуре

Как было отмечено выше, коррозионностойкая сталь является одним из самых желаемых в архитектуре материалов. Любимый множеством проектировщиков и уже используемый некоторыми счастливыми, он придает фасаду здания свой неповторимый высококачественный облик. Хороший пример описанного выше стремления к порядочности материала — общественная скульптура «Облачные ворота» (Cloud Gate) А. Капура (Alish Kapoor) в Чикаго (рис. 1).

Расположенная на внутреннем опорном каркасе и сваренная без швов из отполированных листов коррозионностойкой стали оболочка является примером высокого эстетического восприя-

\* Профессор, докт.-инж. Х. Хахуль, учебно-исследовательское направление «Архитектура и строительство из металла», Дортмундское специальное высшее учебное заведение, Дортмунд; [helmut.hachul@fh-dortmund.de](mailto:helmut.hachul@fh-dortmund.de)



Рис. 1. Скульптура «Облачные ворота» (Cloud Gate), Чикаго, 2006. Внешняя оболочка состоит из 168 пластин из коррозионностойкой стали общей массой примерно 100 т

тия и мастерства скульптура. Архитектурный объект завораживает своим глубоким металлическим блеском, который свойственен только коррозионностойкой стали. При этом одновременно создается впечатление, что объект отличается высокой степенью надежности и добротности, обеспечивающими его существование навечно. Скульптуру, выполненную в форме закристаллизовавшейся капли расплава, можно воспринимать как совокупность всех положительных свойств коррозионностойкой стали — изображение, в котором каждый из нас найдет свое отражение.

Конкретный пример использования коррозионностойкой стали в сооружениях — здание Lloyds of London британского архитектора Р. Роджерса (Richard Rogers). В техническом задании архитектора во главе списка значились такие пункты, как долговечность и визуальная расширяемость; только для фасада был обозначен срок службы в 50 лет [1]. Функциональные принадлежности здания, в частности лестницы или лифты, вынесены наружу. При этом отделка выполнена на основании листов из коррозионностойкой стали, которые придают зданию хотя и технический, но в то же время солидный и надежный облик (рис. 2).

Другой современный архитектор, который использует коррозионностойкую сталь, — американец Ф. О. Гери (Frank O. Gehry). Уже в 1980-е годы он совершил прорыв в области архитектурного деконструктивизма [2]. В течение многих лет он использует перекрывающиеся листы из коррозионностойкой стали для своих изогнутых фасадов. И в этом случае такие свойства материала, как блеск и долговечность, приобретают особую важность

при конструктивном исполнении. В отличие от Р. Роджерса, Ф. О. Гери применил стальные листы без формирования рельефа, но намного меньшего размера и без использования дорогостоящей фальцовочной техники. Перекрывающиеся ромбы из коррозионностойкой стали прикручиваются с помощью винтов к пластинам нижней конструкции без вентиляционных каналов, что может привести к коррозии. При этом принцип контролируемого перекрытия вновь проявляется в художественной манере, в которой Ф. О. Гери проектирует свои фасады. С помощью многочисленных (картонных) моделей осуществляется лазерное сканирование геометрических данных с последующей их обработкой в программе CAD. В качестве примера можно привести павильон Прицкера (Pritzker Pavillion), для каждой поверхности фасада которого характерно сложное трехмерное закругление (рис. 3).

Следует отметить, что Ф. О. Гери, который как художник любит экспериментировать с поверхностями из коррозионностойкой стали, при реализации проекта по сооружению Музея музыки (Experience Music Project) в Сиэтле снова использовал принцип окрашивания пластин из коррозионностойкой стали [3].

Еще один пример из Германии — новый Музей Porsche в Штутгарте, созданный архитектурной компанией Delugan Meissl Associated Architects (Вена). Музей подкупает не только своим экстравагантным проектом, но и высоким мастерством при возведении сооружения из стальных конструкций, а также исполнении фасада. Вопреки опасениям, что парящая нижняя часть здания

будет оказывать «давящее» оптическое воздействие на посетителей, взору открывается обратная картина с игривыми отражениями (рис. 4).

При этом выбранные ромбы из окантованных листов из коррозионностойкой стали легко копируют геометрию поверхности, отличаются прекрасным внешним видом и высокой надежностью и в различных комбинациях формируют логичную и красивую гармонию с внутренним пространством, в котором листы из коррозионностойкой стали также находят свое впечатляющее воплощение (рис. 5).

### Тенденции: рельеф и складки

Как показывают предыдущие примеры, применение листов из коррозионностойкой стали является одним из основных направлений в современной архитектуре. Следуя соответствующему архитектурному стилю, кроме долговечности, к материалу предъявляют и новые требования (например, техническое исполнение и добротность (Lloyds of London), сложные по форме поверхности в сочетании с превосходным блеском (Pritzker Pavillion) или игривое отражение (Музей Porsche)). Используемые для названных архитектурных сооружений фасадные системы применяют известные и хорошо себя зарекомендовавшие способы конструирования, как правило, подвешенные и вентилируемые фасады [4]. При этом листу из коррозионностойкой стали не отводится роль несущей оболочки здания: защита от погоды и первый уровень водоотвода. Несущую функцию она выполняет в плане пере-



Рис. 2. Здание Lloyds of London. Металлическая конструкция разработана архитектурной компанией Gartner; внешние листы выполнены из коррозионностойкой стали марки 316S16 с тканевым рельефом для предотвращения отражения; ровные листы имеют выпуклое исполнение в лифтовой зоне, а в зоне лестничного пролета листы имеют плоскую поверхность благодаря предварительно напряженному состоянию

дачи опасной нагрузки расположенным ниже конструкциям.

Плоские заготовки из коррозионностойкой стали обладают еще одним перспективным потенциалом. На основе разработанной автором системы двухъярусной самонесущей пространственной складчатой конструкции [5] в 2008 г. проведен анализ реализуемости проекта по сооружению пешеходного моста из коррозионностойкой стали.

К конструктивным параметрам были предъявлены достаточно высокие требования: длина



Рис. 3. Павильон Jay Pritzker, Чикаго, 2004 (парк Millennium). Небольшие по размеру пластинки из коррозионностойкой стали формируют поверхность произвольной формы (а), закрепленной на каркасе из основных и вспомогательных балок (б)



Рис. 4. Музей Porsche, Штутгарт, 2009. Справа: снимок нижней части с окантованными ромбами из коррозионностойкой стали в качестве подвешенной вентилируемой конструкции

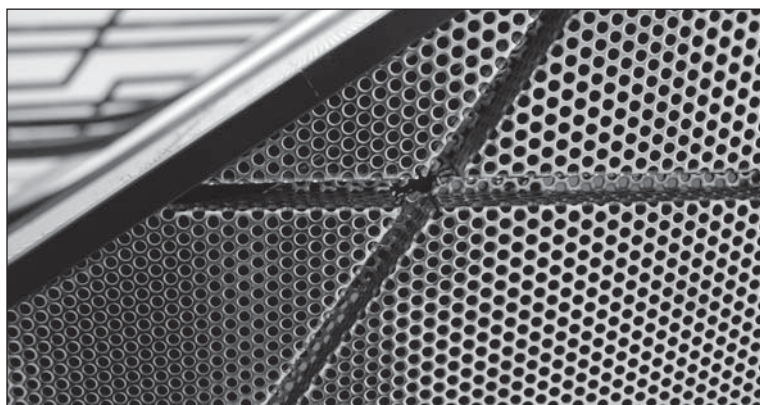


Рис. 5. Музей Porsche. Внутренне пространство выполнено из материала Nirosta 4404, поверхность 2R, после светлого отжига и полировки

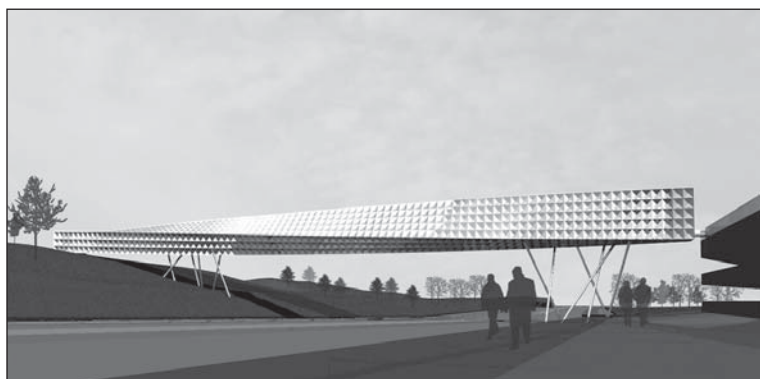


Рис. 6. Вариант проекта Twist. Несущая способность обеспечивается трехмерной двухъярусной складчатой конструкцией из ромбов из коррозионностойкой стали толщиной 3 мм

пешеходного и велосипедного моста 80 м, свободный пролет 40 м, материал — лист из коррозионностойкой стали толщиной 3 мм. Предлагаемые решения кардинально отличались друг от друга.

структуры можно повесить несущую способность листа, можно рассчитывать на увеличение пролета и уменьшение вторичных конструкций. Кроме того, пространственная складчатая конструкция

В первом варианте Twist скрученная прямоугольная труба ведет пользователей от вертикальной стороны бюро в горизонтальный ландшафтный парк (рис. 6).

Процесс трансформации возможен в результате поворота на 90 град., исполнение в виде версии с перфорированным листом должен сформировать просвет и соединить внутреннее и внешнее пространство. В предложенном варианте Wing также с использованием блестящей коррозионностойкой стали в виде крыла крыша отсутствует; несущая конструкция простирается над улицей в виде дуги (рис. 7).

Увеличение высоты боковых стенок позволяет воспринимать моменты и обеспечивает попеременную видимость. Оба варианта проверены на статические нагрузки. В обоих вариантах двухъярусные окантованные ромбы из коррозионностойкой стали могут использоваться как несущие элементы и как обшивка. Это является их отличием и преимуществом по сравнению с традиционными фасадными пластинами. Следует отметить, что долговечность и простота технического обслуживания предложенных конструкций достигается только с помощью коррозионностойкой стали. Комбинация материала коррозионностойкая сталь и одно- или двухъярусной пространственной складчатой конструкции — это направление будущего. В месте, где за счет складчатой

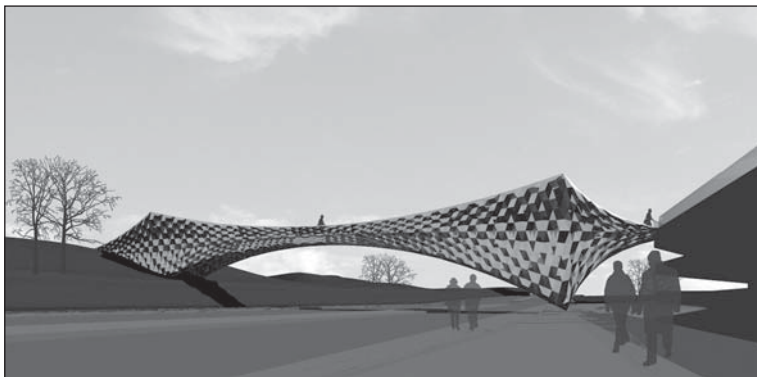


Рис. 7. Вариант проекта Wing. Форма моста определяется нагрузкой и применением. В отличие от первого варианта Twist (прямоугольная сетка), разбиение основано на треугольной топологии

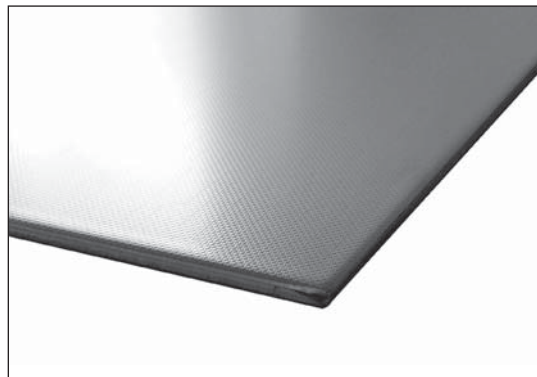


Рис. 8. Лист из нового композиционного материала на основе коррозионностойкой стали: лист из коррозионностойкой стали толщиной 0,3 мм — полимерная основа — лист из коррозионностойкой стали толщиной 0,3 мм. На передней стороне можно формировать соответствующий рельеф. Обратная сторона имеет гладкое исполнение

позволяет создавать сложные труднореализуемые другими средствами геометрические фигуры. Более подробно с проектами можно ознакомиться в работе [3].

В качестве многообещающих примеров можно привести разработки в области композиционных листов из коррозионностойкой стали. Путем соединения полиэтиленовой основы с фольгой толщиной примерно 0,3 мм получают новый композиционный материал, обладающий различными положительными свойствами (рис. 8).

При одинаковой жесткости композиционный материал по сравнению с цельным обеспечивает снижение массы и, как следствие, его экономию. Это оказывает непосредственное влияние на расположенные ниже конструкции, которые также могут иметь более филигранное исполнение. К тому же в рамках специального исследовательского проекта проводится изучение формуемости с помощью целенаправленного ослабления обратной стороны материала. Если применить известный в строительстве способ фрезерования кромок, то из листа можно легко и просто получать фигуры сложной геометрической формы при значительно более низких затратах на изготовление, транспортировку и хранение (рис. 9).

Для сравнения можно привести пример сложной геометрической формы купола Colourdome, построенного в 2008 г. в Ахене в виде одноярусной экспериментальной складчатой конструкции из пяти различных стальных ромбов [6] (рис. 10).

Для изготовления самонесущего павильона из оцинкованного стального листа с лакокрасочным покрытием толщиной 1,25 мм на вычислительной машине необходимо было создать, а затем технически реализовать трехмерную геометрию. После лазерной резки листов на машине гибки в штампе с численно-программным управлением выполняются пять операций гибки: один раз посередине, четыре раза — по краям (рис. 11).

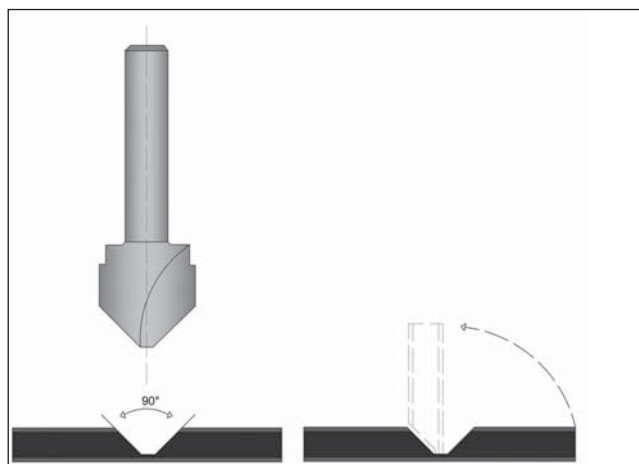


Рис. 9. Упрощенная схема изготовления детали: фрезерование пазов осуществляется на производстве, гибка — на строительной площадке

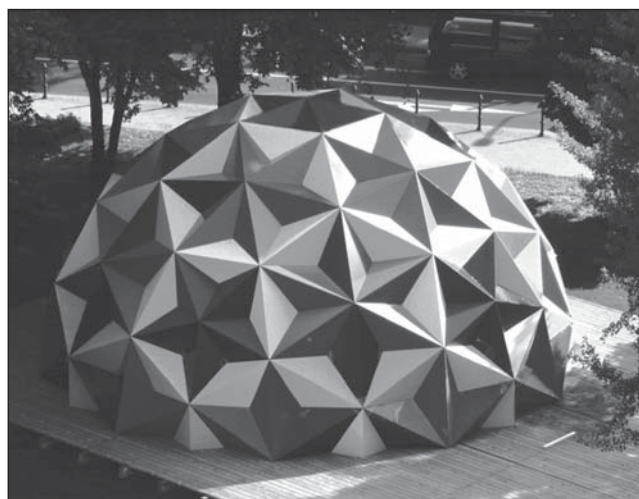


Рис. 10. Купол Colourdome в Ахене, 2002



Рис. 11. Деталь из стального оцинкованного листа

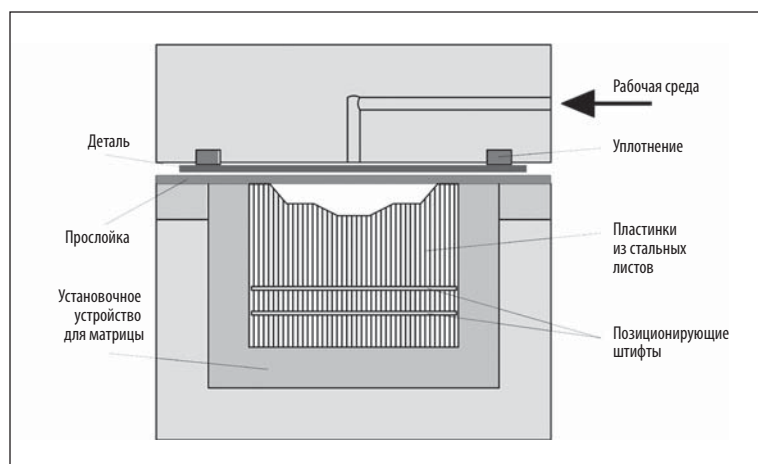


Рис. 12. Схема гидроформования (гидромеханическое формование вытяжкой)

Следует также отметить, что для заготовок с различной длиной кромок имеются и монтируются соответствующие штамповочные инструменты. Немаловажное значение имеет увеличение складских площадей с 2 до 80 м<sup>2</sup> для примерно 180 деталей после гибки. Очевидно, что для всех элементов до их монтажа следует обеспечить защиту поверхности. На этом фоне новый композиционный лист из коррозионностойкой стали приобретает особое значение. Применению складчатых конструкций на основе композиционных листов из коррозионностойкой стали способствует современное развитие в области геометризации фасадов зданий. Все отчетливее проявляется тенденция замены ровного листа листом более сложной формы, что является в фасадном строительстве достойным одобрения новшеством. При этом в меньшей степени следует рекомендовать декори-

рованные фасады эпохи грюндерства конца предпоследнего столетия; скорее речь идет о формировании облика фасада здания с помощью рельефа и текстуры.

Благодаря внедрению компьютеризованного планирования модульная и координатная сетки уже не являются единственным измерительным средством. Окантованные металлические фасадные пластины позволяют придать живость при оформлении фасадов зданий в градостроительном контексте. Коррозионностойкая сталь, кроме своих качественных характеристик, обладает такими преимуществами, как долговечность и блеск. Легкое изменение формы фасадных пластин позволит в будущем в равной степени повысить экономичность их применения.

В развитие этого направления, которое еще называют «индивидуализация фасада», могут внести свой вклад новые технологии из области машиностроения. Такие процессы, как инкрементное формование листа или гидроформование (классический штамп заменяется рабочей средой (вода/масло — эмульсия); при рабочем давлении примерно 3000 бар лист прижимается к стенке фасонной матрицы), обеспечивают экономичное изготовление малых партий изделий сложной формы для фасадов зданий (рис. 12).

В качестве примера применения названных выше способов можно привести новое здание детского сада компании ThyssenKrupp Quartiers в Эссене. Фасад зданий выполнен из элементарных пластин из коррозионностойкой стали с поверхностью на тему «морской берег» (небольшая параллельная волнистость) (рис. 13).



Рис. 13. Детский сад компании ThyssenKrupp Quartiers в Эссене: фасадные пластины из коррозионностойкой стали компании Fielitz, Ингольштадт, получены методом гидроформования. Пластины имеют волнистость и отверстия

Следует отметить, что даже при использовании перфорированного листа процесс гидроформования не представляет трудностей. С одной стороны, фасад характеризуется легкостью и индивидуальностью, а с другой — пониженным расходом материала, так как геометрия волнистости позволяет увеличить жесткость изделия. К этому следует добавить такую особенность, как индивидуальный облик долговечного, выполненного из коррозионностойкой стали фасада — лучший пример практичного, стабильного и красивого применения восхитительного материала.

### Выводы

Применение такого материала, как коррозионностойкая сталь, имеет долгую и устойчивую традицию. К таким известным и зарекомендовавшим

себя свойствам этой стали, как долговечность, эстетичность и добротность, можно добавить следующие нововведения в области материала (композиционный лист на основе коррозионностойкой стали), поверхности (рельеф, окраска) и процессов формования (гидроформование). В результате этого материал не только повысил свою конкурентоспособность, но и под давлением новых требований смог завоевать новые области применения. Особенно большие перспективы открываются перед материалом в области оформления фасадов зданий. В связи с этим следует активизировать деятельность по дальнейшему применению и развитию материала. ЧМ

### Библиографический список

См. ниже (в англ. блоке).

### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### BUILDING ENVELOPES WITH STAINLESS STEEL

Hachul H.<sup>1</sup>, Dr. Eng., Prof., Studying and Research Direction  
"Metal Architecture and Building"

<sup>1</sup> Dortmund Special High School (Dortmund, Germany)

E-mail: helmut.hachul@fh-dortmund.de

**Abstract:** The use of stainless steel in building envelopes has a long tradition in architectural history. General information about stainless steel, its grades and properties is presented. The material properties, first of all high-strength durability and simultaneously splendid formability offer further chances for creating contemporary facades. Different examples of building facades and architectural compositions are observed. Cloud Gate in Chicago (2006) has the outer casing consisting of 168 stainless steel plates weighing about 100 t. The facade cladding of Lloyds in London: The metal construction has been engineered by Gartner. Facade cladding is manufactured of stainless steel, type 316S16, and embossed with linen structure to avoid reflections. Jay Pritzker Pavilion in Chicago's Millennium Park (2004) has small-sized stainless steel clapboards form the free-form surface. The slight skin of stainless steel provides the outermost layer of a complex bearing structure. Porsche Museum in Stuttgart (2009) is a building like a spatial steel sculpture with a stainless steel shelf at the soffit. New economic manufacturing methods such as Hydroforming encourage new aesthetic cladding products and provide

such architectural tendencies as relief and buckles. In addition to a multitude of new embossments or chromaticities, composite panels with stainless surfaces count among the most interesting product developments. Therefore the individualization of building envelopes is possible by average means and stainless steel remains state of the art.

**Key words:** stainless steel, mechanical properties, formability, architecture, building, construction, facades, plates, cladding, embossing, panels.

#### References:

1. *Burdett, R.*: Richard Rogers — Bauten und Projekte, DVA, Stuttgart, 1996, S. 92 f.
2. *Gössel, P.; Leuthäuser, G.*: Architektur des 20. Jahrhunderts, Benedikt Taschen Verlag, Köln, 1990, S. 360.
3. *LeCuyer, A.*: Stahl & Co. — Neue Strategien für Metalle in der Architektur, Birkhäuser Verlag, Basel/Berlin/Boston, 2003, S. 114 f.
4. DIN 18516-1, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 1: Anforderungen, Prüfungsgrundsätze, Berlin, Juni 2010.
5. *Hachul, H.*: Neue Strukturformen und Technologien für Tragkonstruktionen aus Feinblech, Aachen, 2006 (Dr.-Ing.-Diss.).
6. *Hachul, H.*: Colourdome — Ein selbsttragender Experimental-kuppelbau aus Stahlblech, Dokumentation 089, Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 2004.