



УДК 621.791:624.21

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОКАТА 10ХСНДА, 15ХСНДА В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ р. ДНЕПР В КИЕВЕ

В. А. КОВТУНЕНКО, канд. техн. наук, **А. М. ГЕРАСИМЕНКО**, **В. А. ЗАДОРЖНЫЙ**,
В. В. РЫНДИЧ, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ стального проката, применяемого для ответственных строительных металлоконструкций и мостов. Представлены стали 10ХСНДА и 15ХСНДА по ТУ 14-1-5120-92, разработанные на базе широко известных в мостостроении сталей 10ХСНД, 15ХСНД (ГОСТ 6713). Освещены проблемы применения данных сталей при строительстве железнодорожно-автомобильного мостового перехода через р. Днепр в Киеве.

Ключевые слова: мостостроение, металлические конструкции, стальной прокат, микролегирование, технологии и режимы дуговой сварки, сварочные материалы, свойства сварных соединений

Развитие мостостроения связано непосредственно с улучшением качества стального проката. В табл. 1 приведены данные об использовании сталей для элементов из прокатного металла в несущих металлических конструкциях пролетных строений согласно ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування».

В отечественном мостостроении наиболее часто применяют стали марок 10ХСНД, 15ХСНД (ГОСТ 6713). Основу легирования этих сталей составляют такие элементы, как углерод, кремний, марганец, хром, никель, медь. Для них оптимизированы режимы, технология дуговой сварки и сварочные материалы, которые обеспечивают требуемые свойства сварных соединений. Достаточно широко для строительных металлоконструкций применяется сталь 09Г2С (ГОСТ 19281).

Современным требованиям к материалам для ответственных металлоконструкций соответствуют стали нового поколения — высокопрочные экономнолегированные стали 06ГБД, 06Г2Б (С355-490, ТУ У 27.1-05416923-085:2006), 09Г2СЮЧ (С325-390, ТУ У 322-16-127). От обычно применяемых в отечественных металлоконструкциях эти стали отличаются экономным легированием, высокой надежностью, хладостойкостью, хорошей свариваемостью. Однако в практике отечественного мостостроения преимущественно используют низколегированные стали с пределом текучести до 350 МПа.

Стали 10ХСНД класса прочности 390 и 15ХСНД класса прочности 345 обеспечивают высокие прочностные свойства при значительном легировании дефицитными хромом и никелем.

Основным нормативным документом, регламентирующим требования к металлопрокату для мостовых конструкций, является ГОСТ 6713. Он предусматривает нормирование прочностных, пластических свойств и характеристик вязкости, однако не гарантирует обеспечение сопротивления хрупкому разрушению металла при отрицательных температурах по результатам испытаний на ударную вязкость образцов с острым надрезом (*KCV*). Нормативным документом ГОСТ 19281 гарантируется ударная вязкость сталей 10ХСНД, 15ХСНД по Шарпи (*KCV*) не ниже 40 Дж/см² только при температурах 0 и –20 °С.

Листовой прокат 09Г2С класса прочности С345 имеет более низкие значения предела текучести и временного сопротивления по сравнению со сталями 10ХСНД, 15ХСНД. Ударная вязкость проката на образцах с острым надрезом *KCV* нормируется стандартом ГОСТ 19281 не ниже 40 Дж/см² (температура испытания 0, –20 °С).

Прокат 06ГБД, 06Г2БД классов прочности С355-490 в соответствии с ТУ У 27.1-05416923-085:2006 обеспечивает следующие показатели ударной вязкости *KCV*: при –20 °С 98 Дж/см², при –40 °С 78 Дж/см² и при –60 °С 59 Дж/см². Стали поставляются с гарантированными значениями прочностных и пластических свойств в направлении толщины, а также с гарантированным обеспечением сплошности толстолистового



Таблица 1. Перечень сталей для элементов из прокатного металла согласно ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування»

Марка стали	Класс прочности	Толщина проката (мм), вкл.		ГОСТ, ТУ	Дополнительные требования
		листового	фасонного		
16Д	235	До 20		ГОСТ 6713	—
16Д	225	21...40		ГОСТ 6713	По примечанию 3 к табл. 1*, 1.14, 1.16
16Д	215	41...60		ГОСТ 6713	
15ХСНД	345	8...15		ГОСТ 6713	
15ХСНД	335	16...50; 16...32		ГОСТ 6713	
10ХСНД	390	8...15		ГОСТ 6713	
10ХСНД-2	390	8...40	8...15	ГОСТ 6713	
15ХСНД-12	345	До 32	До 10	ГОСТ 19281	П. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.6, 2.2.9, 2.2.11, 2.3 по ГОСТ 19281 Класс сплошности 1,2 по ГОСТ 22727
10ХСНД-12	390	До 40	До 15	ГОСТ 19281	
14Г2АФД	390	До 50	—	ГОСТ 19281	П. 1.4
15Г2АФДпс	390	До 32	—	ГОСТ 19281	П. 1.4
09Г2Д-12	295Д	До 32	До 20	ГОСТ 19281	П. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.6, 2.2.9, 2.2.11, 2.3 по ГОСТ 19281 Класс сплошности 1,2 по ГОСТ 22727
09Г2СД-12	295Д	21...32		ГОСТ 19281	
09Г2СД-12	325Д	Свыше 10 до 20		ГОСТ 19281	
09Г2Д-12	325Д	До 10	—	ГОСТ 19281	Класс сплошности 1,2 по ГОСТ 22727
09Г2СЮЧ-2	325	8...50	—	ТУ У 322-16-127	
09Г2СЮЧ-2	355	8...50	—	ТУ У 322-16-127	
09Г2СЮЧ-3	390	8...50	—	ТУ У 322-16-127	
Е36	355	8...50	—	ГОСТ 5521	
Е40	390	8...40	—	ГОСТ 5521	
06ГБД	355	8...50	—	ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06ГБД	390	8...50	—	ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06Г2БД	440	8...50	—	ТУ У 27.1-05416923-085:2006	
06Г2БД	490	8...50	—	ТУ У 27.1-05416923-085:2006	

проката не ниже 1, 2 класса сплошности по ГОСТ 22727.

Примером применения сталей нового поколения в металлоконструкциях мостов может служить строительство автодорожного моста через вход в Гавань Подольского мостового перехода в г. Киеве. Это инженерное сооружение интересно тем, что впервые в отечественном мостостроении в основных металлических сварных конструкциях (главных балках) применен листовой прокат двух различных марок сталей одного класса прочности С390 — 10ХСНД-2 (ГОСТ 6713) и 06ГБД (ТУ У 27.1-05416923-085:2006).

Проектом строящегося железнодорожно-автомобильного моста через р. Днепр в г.Киеве (ОАО «Трансмост» С.-Петербург) допускается применение проката 10ХСНДА и 15ХСНДА по ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6.

В Украине прокат 10ХСНДА и 15ХСНДА в автодорожных и железнодорожных пролетных строениях не применялся и в нормативных документах отсутствует.

В России в СНиП 2.05.03-84* эти стали не включены. Их применение в мостах осуществляется в соответствии с письмом Министерства строительства РФ № 13/2 от 04.01.95 г. В связи с этим возникли определенные трудности с применением данного проката при строительстве мостового перехода.

В ИЭС им. Е. О. Патона проведен анализ данных о свойствах проката и сварных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА [1–4].

Прокат сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА поставляется ООО «Уральская сталь» по ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6. По сравнению со сталями для мостостроения по ГОСТ 6713 данные стали харак-

Таблица 2. Химический состав сталей 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХСНДА, 15ХСНДА, мас. %

Марка стали	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	S	P	V	Nb
10ХСНД (ГОСТ 6713)	до 0,12	0,80...1,10	0,50...0,80	0,40...0,60	0,60...0,90	0,50...0,80	0,035	0,035	—	—
15ХСНД (ГОСТ 6713)	0,12...0,18	0,40...0,70	0,40...0,70	0,20...0,40	0,60...0,90	0,30...0,60	0,035	0,035	—	—
10ХСНДА (ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6)	≤ 0,12	0,80...1,10	0,65...0,95	0,40...0,60	0,30...0,60	0,20...0,50	≤ 0,010	≤ 0,015	0,08...0,12	0,03...0,06
15ХСНДА (ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6)	0,10...0,15	0,40...0,70	0,60...0,90	0,20...0,40	0,30...0,60	0,20...0,50	≤ 0,010	≤ 0,015	0,08...0,12	0,03...0,06

Примечание. Во всех сталях N — не более 0,008 %.

теризуются более экономной системой легирования, а также жесткими нормами по содержанию вредных примесей. Химический состав сталей скорректирован в сторону снижения содержания никеля и хрома, серы и фосфора (табл. 2). Значения углеродного эквивалента $C_{\text{эkv}}$ разработанных сталей по сравнению со сталями по ГОСТ 6713 следующие: для стали 10ХСНД — 0,39...0,52; 15ХСНД — 0,34...0,48; 10ХСНДА — 0,35...0,49; 15ХСНДА — 0,31...0,49 ($C_{\text{эkv}}$ определен по формуле МИСА:

$$C_{\text{эkv}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}.$$

Технические условия ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6 гарантируют поставку проката 10ХСНДА и 15ХСНДА с ударной вязкостью на образцах с надрезом (КСУ) по Шарпи не ниже 29 Дж/см² при температуре испытания -40 °С, обеспечение класса сплошности проката 1,2 по ГОСТ 22727, а также контроль комплекса свойств в Z-направлении.

Главным отличием сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА является наличие в их составе сильных карбидообразующих элементов ванадия и ниобия, что позволило одновременно повысить прочностные свойства по механизму дисперсионного твердения и пластичность путем измельчения конечной ферритно-перлитной структуры.

Возможность повышения прочностных характеристик позволило уменьшить содержание углерода, хрома, никеля, упрочняющих сталь по механизму твердого раствора. При этом учтено, что минимальное содержание никеля, хрома, меди должно обеспечить достаточную стойкость к атмосферной коррозии, а вместе с углеродом и марганцем — необходимую степень устойчивости перохлажденного аустенита при термической обработке [3]. Это обстоятельство в сочетании с особыми режимами прокатки и термической обра-

ботки позволило улучшить свойства листового проката.

В работе [3] показано, что по сравнению со сталями по ГОСТ 6713 прокат 15ХСНДА и 10ХСНДА при равном уровне прочностных свойств имеет более высокие пластические характеристики и ударную вязкость. Порог хладноломкости сталей в нормализованном состоянии составляет соответственно -70 и -60 °С. Испытания проката на растяжение в Z-направлении показали практически одинаковый уровень прочностных и пластических свойств как в плоскости прокатки, так и в направлении толщины.

Изменение химического состава повлекло за собой изменение металлургических процессов и фазовых превращений, протекающих в сварочной ванне и околошовной зоне (ОШЗ). В результате возникла необходимость изыскания оптимальных технологий сварки мостовых конструкций из этих сталей как в заводских, так и монтажных условиях [1].

Исследования показали, что прокат сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА имеет достаточный запас сварочно-технологических характеристик [4]. Однако при сварке микролегированных сталей переход в наплавленный металл ниобия, ванадия, а также их нитридов и карбонитридов может способствовать повышению твердости наплавленного металла и оказывать неблагоприятное влияние на ударную вязкость и температуру перехода металла шва в хрупкое состояние.

В работе [1] проводили исследования сварных монтажных соединений данных сталей и установили, что металл шва и различных зон сварного соединения сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА имеет необходимые прочностные и пластические характеристики на уровне свойств основного металла. Однако сварные соединения толщиной 12 мм из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, выполненные од-



Таблица 3. Служебные характеристики проката стали 10ХСНДА, 15ХСНДА

Марка стали по ТУ 14-1-5120-92	Толщина проката, мм	Механические характеристики			KCU, Дж/см ² , при температуре			Угол загиба, град	Доля волокнистого строения в изломе, %
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	-60 °С	-20 °С	-20 °С (после механического старения)		
10ХСНДА	12	568...574	429	27,0...30,0	135...159	147...162	148...160	120	100
10ХСНДА	16	565...567	370...386	27,0...27,3	60...85	62...74	90...125	120	100
15ХСНДА	16	528...532	370...377	26,6...29,3	160...207	168...200	174...217	120	95...98
10ХСНДА	20	558...569	359...397	28,8...35,8	200...209	198...205	209...222	120	97...100
10ХСНДА	32	593...605	400...405	27,0...37,0	161...230	170...218	213...237	120	95...100

носторонней одно- и двухпроходной сваркой под флюсом, оказались чувствительными к низкотемпературному охрупчиванию, особенно по линии сплавления. В большей степени охрупчивание при температуре испытания $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдалось на соединениях, изготовленных зимой ($-15\text{...}-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Нормализация с отпуском после сварки, а также многослойное заполнение шва предотвращают низкотемпературное охрупчивание, за исключением зоны сплавления последнего прохода, где сохраняется повышенная чувствительность к удару при низких температурах.

Для определения причин снижения хладостойкости сварных соединений сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА были проведены исследования микроструктуры шлифов, вырезанных из стыковых соединений, которые выполнены на различных погонных энергиях [1].

Анализ микроструктуры сварных соединений сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, выполненных на повышенной погонной энергии, показал, что зерно в ОШЗ укрупнено. Игольчатое расположение феррита в теле зерен перлита свидетельствует о наличии перегрева и формировании видманштеттовой структуры. При просмотре структуры под электронным микроскопом обнаружили включения различных форм и размеров, преимущественно в теле зерна феррита. Микрохимический анализ зоны фиксировал наличие в ней карбонитридных включений ниобия, ванадия и других соединений металлического и неметаллического происхождения [1, 5].

Согласно выполненным исследованиям [1, 5] сварка на повышенных погонных энергиях сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, микролегированных ниобием и ванадием, приводит к длительному пребыванию металла шва и ЗТВ в области высоких температур (свыше $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это обуславливает более полное растворение в аустените карбидов и других соединений ниобия и ванадия, рост зерна аустенита, диффузию углерода

из основного металла в наплавленный и насыщение расплавов фосфором из сварочных материалов. Последующее охлаждение вызывает формирование неблагоприятной видманштеттовой структуры, выпадение из аустенита и расплава карбонитридов ванадия и ниобия, которые способствуют [5–8] локальному искажению кристаллических ячеек феррита, снижению подвижности дислокаций, особенно при отрицательных температурах, и, как следствие, затруднению процесса скольжения при деформациях. При этом на снижение хладостойкости металла влияет повышенное содержание фосфора в зоне сплавления, видманштеттова структура с пластинками и иглами феррита в теле зерен перлита, формирующаяся при сварке монтажных швов в условиях ускоренного охлаждения значительно перегретой стали [1].

На основе экспериментальных данных разработаны режимы сварки на пониженных погонных энергиях и параметры подготовки кромок монтажных швов мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, обеспечивающие хладостойкость и равнопрочность соединений.

По заключению Министерства строительства России в конструкциях автодорожных мостов может применяться прокат 10ХСНДА, 15ХСНДА (ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6) при содержании серы не более 0,010 %, фосфора не более 0,015 % и волокнистого строения в изломе не менее 50 %.

Выполнение входного контроля механических свойств, ударной вязкости на образцах с острым надрезом (KCV) при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и структуры металла в изломе каждой партии проката в соответствии с требованиями технических условий обязательно.

При заводском изготовлении и монтаже конструкций необходимо проводить проверку применяемых режимов сварки и сварочных материалов путем определения механических свойств со-

Таблица 4. Служебные характеристики сварных соединений стали 15ХСНДА, 10ХСНДА (сварочные материалы: проволока Св-10НМА, диаметр 5 мм, флюс АН-47 (для выполнения корневых проходов — электроды УОНИ-13/55))

Марка стали, толщина, мм	σ_b , МПа	KCU_{-60} , Дж/см ²		Шов		
		Ось шва	Линия сплавления	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
15ХСНДА, 12	561...570	45...53	52...100	736...778	598...644	20...22
15ХСНДА, 16	641...647	62...89	36...75	637...662	513...584	21...23
15ХСНДА, 20	767...773	61...71	47...86	587...658	460...478	23...27
15ХСНДА, 40	565...597	49...72	37...133	736...799	705...720	18...23
10ХСНДА, 12	541...554	51...59	81...110	753...771	647...690	21...22
10ХСНДА, 16	680...692	49...55	35...42	688...700	595...603	20...23
10ХСНДА, 20	602...606	70...84	38...65	612...685	402...484	24...30
10ХСНДА, 40	649...652	66...85	30...99	675...688	420...425	21...22

Окончание табл. 4

Марка стали, толщина, мм	Твердость по Виккерсу		
	ОМ	ОПЗ	Шов
15ХСНДА, 12	135...140	163...174	178...185
15ХСНДА, 16	158...166	170...172	190...210
15ХСНДА, 20	152	159...165	171...174
15ХСНДА, 40	138...145	160...173	186...195
10ХСНДА, 12	148...155	174...177	200...209
10ХСНДА, 16	154...162	171...177	201...217
10ХСНДА, 20	159...165	174...177	197...209
10ХСНДА, 40	159...171	177...186	209...217

Примечание. Образцы всех соединений разрушились при испытании по основному металлу (ОМ), угол загиба составлял 120°.

единений и металла шва методами и в объемах, регламентированных действующими нормативными документами по технологии заводской и монтажной сварки.

Опыт использования проката сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА при строительстве железнодорожно-автомобильного мостового перехода в г. Киеве показывает, что при выполнении сварных соединений возникают определенные трудности, которые сдерживают процедуру включения этих сталей в нормативные документы.

Проблемы, возникшие при строительстве железнодорожно-автомобильного мостового перехода через р. Днепр в г. Киеве с использованием значительного объема металлоконструкций пролетных строений, которые изготавливаются из сталей марок 10ХСНДА и 15ХСНДА ЗАО «Курганстальмост» и ЗАО «Улан-Удестальмост», носили комплексный характер и потребовали согласованного решения. С этой целью в ИЭС им. Е. О. Патона проведено исследование свойств

проката (табл. 3), служебных характеристик сварных соединений сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА (табл. 4). Была также исследована макроструктура сварных соединений металла проката 15ХСНДА, 10ХСНДА толщиной 16, 20, 40 мм. Результаты удовлетворяют требованиям, регламентированным для сварных соединений СНиП III-18-75.

На основании проведенных исследований и опыта применения проката стали 15ХСНДА, 10ХСНДА по ТУ 14-1-5120-92 с изменением № 6 в мостостроении России (мосты через реки Обь, Каму, Дон, Волгу, Оку и др.) была выполнена оценка технологичности этих сталей и разработаны временные технические условия, которые регламентируют применение проката 15ХСНДА, 10ХСНДА в металлоконструкциях железнодорожно-автомобильного мостового перехода через р. Днепр в г. Киеве (с подходами) на железнодорожном участке Киев-Московский — Дарница. Научно-инженерное сопровождение сборочно-сварочных работ выполняется специалистами Института электросварки им. Е. О. Патона.

1. *Свойства* монтажных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА / Д. П. Чепрасов, Е. А. Иванайский, А. С. Платонов и др. // Свароч. пр-во. — 1998. — № 6. — С. 16-19.
2. *Чепрасов Д. П., Петров В. П., Иванайский Е. А.* Водородная хрупкость монтажных сварных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА // Там же. — 2003. — № 3. — С. 12-16.
3. *Мостовые* стали нового поколения на основе природно-легированных руд Халиловского месторождения / И. Ф. Пемов, Ю. Д. Морозов, А. М. Степашин, Г. Н. Мулько // Металлург. — 2004. — № 9.
4. *Платонов А. С., Пемов И. Ф., Подберезный Н. И.* Новые виды стального проката для мостостроения // Транспорт. стр-во. — 1996. — № 3. — С. 12-14.
5. *Хладостойкость* сварных соединений стали 08Г2СФБ / З. А. Добротина, С. П. Литвиненко, Г. А. Розанова и др. // Свароч. пр-во. — 1979. — № 1. — С. 25-27.
6. *Гудков А. А.* Трещиностойкость стали. — М.: Металлургия, 1989. — 375 с.



7. *Охрупчивание* конструкционных сталей и сплавов: Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1988. — 550 с.
8. *Грабин В. Ф.* Металловедение сварки плавлением. — Киев: Наук. думка, 1982. — 414 с.

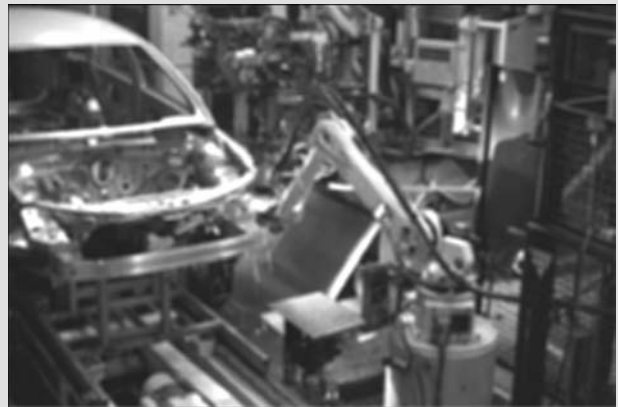
Steel rolled stock used for fabrication of critical building metal structures and bridges has been analysed. Steels 10KhSNDA and 15KhSNDA, according to TU 14-1-5120-92, developed on the basis of steels 10KhSND and 15KhSND (GOST 6713) widely applied in bridge construction, are considered. Problems of application of these steels for construction of the railway-road bridge across the Dnieper River in Kiev are outlined.

Поступила в редакцию 24.04.2008

Конференция «АВТОМОБИЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ — ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ СОЕДИНЕНИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ»

С 1–2 октября 2008 г. на новом промышленном предприятии компании «Fronius International» в г. Сеттледте, Верхняя Австрия состоится Первая международная конференция «Автомобильное машиностроение. Тенденции в технологиях соединения и материаловедении». В автомобильной промышленности, являющейся ведущим представителем современных технологий, уделяется повышенное внимание безопасности, снижению веса и экономии энергии. Материалы и эффективные способы их соединения являются средствами для инновационных решений этих задач.

Тематика конференции включает заслушивание следующих докладов: «Несопоставимые соединения — возможности для легковесных конструкций» (проф. А. Р. Пизалла, Институт Макса Планка), «Титан и магний — материалы в современном обществе» (проф. Х. Антрековитц, Горный университет в г. Леобене), «Технологии соединения для конструкций кузовов» (С. Мюллер, компания «Audi»), «Обеспечение качества МИГ сварки алюминиевых сплавов» (А. Ланг, компания



BMW), «Гибридная лазерная сварка структур системы безопасности шасси» (Х. Стеинметц, компания «Daimler»), «Уроки, полученные при первичном использовании процесса ХПМ компанией «Ford» (Г. Мюллер, компания «Ford»), «Новые процессы соединения и преимущества, которые они предлагают автомобильной промышленности» (д-р Фил. Йонгджон Чо, компания «Hyundai»), «Технические требования для методик соединения в автомобильном производстве будущего» (д-р С. Ютнер, компания «Volkswagen»), «Методики соединения для компонентов горячей штамповки и алюминиевых материалов» (проф. В. Ростек, д-р Т. М. Виббек, «Benteler Automobitechnik»), «Свариваемость современных ультрапрочных марок холоднокатаной полосы» (д-р Г. Пош, «Bohler»), «Замена сварной конструкции для деталей прецизионного литья при использовании процесса ХПМ» (А. Волпрехт, «Lewa Attendorn»), «Обеспечение качества процесса» (К. Ламмером, «Magna Cosma»).

С более полной информацией о работе конференции
и условиях участия в ней можно ознакомиться по:
Tel: + 43 /7242 /241-0, Fax: +43 /7242 /241-3940, E-mail: sales@fronius.com