

## ПОЛУЧЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ПРОПЛАВНЫМ ШВОМ

М. ШМИДТ<sup>1</sup>, С. В. КУРЫНЦЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет Фридриха-Александра, Германия, г. Эрланген

<sup>2</sup> Казан. нац. исслед. техн. ун-т им. А. Н. Туполева. РФ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10. E-mail: kuryntsev16@mail.ru

Современный уровень развития технологий обработки металлических материалов немаловажен без использования лазеров, нашедших применение в таких процессах, как резка, термическая обработка, сварка, гравировка, пайка. В данной статье описаны исследования процесса получения биметаллического соединения нержавеющей стали — латунь с использованием лазерной сварки проплавным швом. Образцы были сварены на оборудовании ООО НТО «ИРЭ-Полюс», производящем установки для сварки лазером с использованием клещей. Толщина образцов из стали 12Х18Н10Т и латуни Л63 составляла 3 мм. Сварку выполняли на разных режимах, а также оценивали влияние последующей термической обработки на механические свойства соединений. Проведены металлографические исследования, измерена микротвердость различных участков сварного соединения. Выявлено, что применение лазерной сварки проплавным швом для получения биметаллических соединений возможно при условии более тщательной отработки режимов сварки и последующей термической обработки. Библиогр. 8, табл. 2, рис. 6.

*Ключевые слова:* лазерная сварка, клещи, проплавной шов, биметаллическое соединение, микротвердость, металлография

Применение композиционных металлических материалов, в частности биметаллов, позволяет в одном изделии сочетать такие ценные эксплуатационные и физико-механические свойства, присущие разнородным металлам, как коррозионная стойкость и механическая прочность, триботехнические свойства и коррозионная стойкость, триботехнические свойства и жаростойкость, жаропрочность. Биметаллы находят широкое применение в машино-, корабле-, авиастроении, химической промышленности, производстве энергетических установок.

Соединение сваркой плавлением некоторых пар металлов не возможно, так как они являются металлургически не совместимыми либо при сварке плавлением на границе раздела образуются интерметаллиды, которые негативно влияют на механические и электрофизические свойства соединений.

Существует множество методов получения биметаллов, в частности, заливка расплавленного металла на движущуюся стальную ленту, напекание металлического порошка, дуговая наплавка [1, 2], магнитно-импульсная сварка, сварка прокаткой [3], сварка взрывом [4], линейная сварка трением, ультразвуковая сварка, диффузионная сварка [5]. Все эти способы имеют ряд технологических недостатков: сложность выполнения, низкие показатели экологичности процесса, максимальную эффективность только при массовом производстве, высокую энергоёмкость процессов, низкую производительность, узкую специализа-

цию используемого оборудования, трудоемкость и нерегулярную повторяемость технологического процесса. Именно поэтому в промышленное производство актуально внедрение более совершенных технологий, обеспечивающих высокие показатели энергоэффективности, повторяемости технологического процесса, автоматизации и роботизации технологии. В настоящее время лазерные технологии являются передовыми в мировой практике и отвечают современным требованиям.

Вместе с тем имеют место и недостатки, присущие лазерным технологиям. К ним относится малоизученный механизм образования парогазового канала, так как с ним связано появление пор в сварных соединениях. В работах [6, 7] рассмотрен вопрос влияния предварительной подготовки кромок под сварку в защитных газах. В работе [8] предложена технология применения гибридной лазерно-дуговой сварки проплавным швом, представлены результаты влияния предварительной подготовки поверхности, степени прижатия заготовок друг к другу, режимов гибридного процесса, флюсов, защитных газов и присадочной проволоки на образование соединения и термический цикл сварки.

В настоящей статье рассматривается применение лазерной сварки с использованием клещей для изготовления биметаллических заготовок как альтернатива широко распространенным методам.

Лазерная сварка с использованием клещей — это процесс получения неразъемного соединения путем установления межатомных связей между двумя или более плоскими заготовками. При воз-



Таблица 1. Режимы получения образцов сталь 12X18H10T + латунь Л63

Режим	$N$ , кВ	$v_{св}$ , мм/с
1	3	25
2	2,5	25
3	2,5	15

действию на поверхность одной из заготовок лазерного луча, двигающегося по определенной траектории, соединение образуется за счет переплава границы двух поверхностей, возможно с полным или неполным проплавлением (рис. 1). Технология сварки следующая: между зажимными цангами клещей (рис. 1, б) помещают свариваемые заготовки, которые прижимают достаточно плотно. В клещи, которые полые, подается защитный газ, и практически одновременно через верхний зажим цанги направляется лазерный луч, перпендикулярно свариваемым заготовкам.

Характеристики процесса лазерной сварки проплавленным швом приведены ниже:

масса клещей, кг	45
прижимающая сила, кН	0,6...3
ширина зазора клещей, мм	130
длина зоны сварки, мм	0...40
амплитуда колебаний луча, мм	2
частота колебаний луча, Гц	3...25
скорость сварки, мм / с	max 80
фокусное расстояние, мм	250 или 300
длительность процесса сварки, с	< 2

Основные преимущества лазерной сварки с использованием клещей следующие: возможность получения сварных соединений разнородных ме-

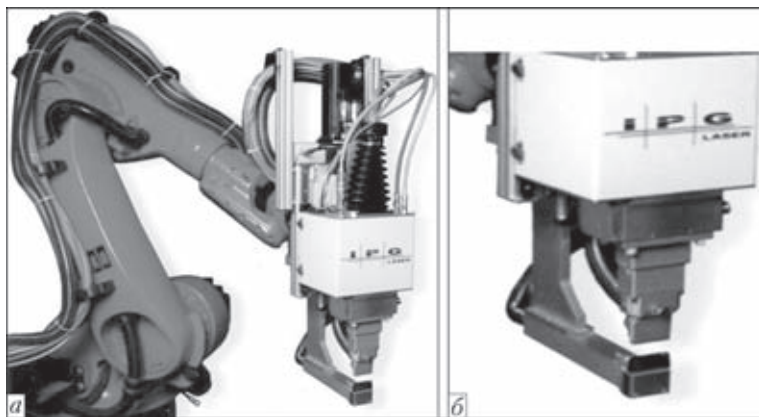


Рис. 1. Внешний вид установки для лазерной сварки с использованием клещей LSS (а) и цанги (б)

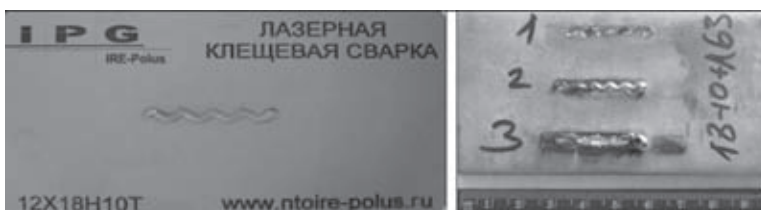


Рис. 2. Образцы, полученные лазерной сваркой: а — образец сварного соединения 12X18H10T+12X18H10T, один режим; б — образец сварного соединения 12X18H10T+Л63, три режима

Таблица 2. Влияние режима термической обработки на микротвердость участка латуни Л63, частично перемещенного со сталью 12X18H10T

Режим	$T$ , °С	$t$ , ч	$HV$ 0,5, МПа
1	400	1,30	950...1030
2	350	3,0	870...940
3	500	3,0	850...890

таллов, высокая скорость сварки, кратковременный нагрев, как результат практически полное отсутствие зон термического влияния, возможность автоматизации и роботизации технологического процесса, высокая скорость сварки. При использовании программного управления лазерным оборудованием и отработанной технологии можно обеспечить высокий показатель повторяемости процесса сварки, что имеет большое значение в условиях серийного производства. Промышленное внедрение лазерных комплексов компании ООО НТО «ИРЭ-Полус» не требует кардинального изменения технологического процесса сварки, оборудование является достаточно компактным, потребляемая мощность сравнима с конкурирующими технологиями.

Сущность этого процесса при получении биметаллов заключается в выполнении соединения проплавленными швами двух или более одно- или разнородных металлических листов, расположенных друг над другом. Для увеличения площади соединения лазерный луч перемещается по определенной траектории (рис. 2, а, сварной шов в центре образца). Для исследования механизма образования соединения была подготовлена и сварена серия образцов сталь 12X18H10T + латунь Л63 с неполным проплавлением, толщина пластин 12X18H10T и Л63 составляла 3 мм. Лазерный луч перемещался по определенной траектории по поверхности стали 12X18H10T, образцы были сварены на разных режимах (табл. 1). После сварки для выявления влияния термической обработки на механические свойства соединения было проведено старение образцов с проплавом по разным режимам (табл. 2).

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «Axiovert 200» фирмы «Carl Zeiss», микротвердость слоев, зон сплавления и зон термического влияния лазерного луча измеряли на микротвердомере НХ 1000 фирмы «Remet».

При металлографических исследованиях образцов было выявлено, что проплав при всех режимах является не постоянным (рис. 3). Произведено фотографирование нескольких слоев одного залитого шлифа, после каждого исследования путем шлифования и полирования снимали определенный слой толщиной

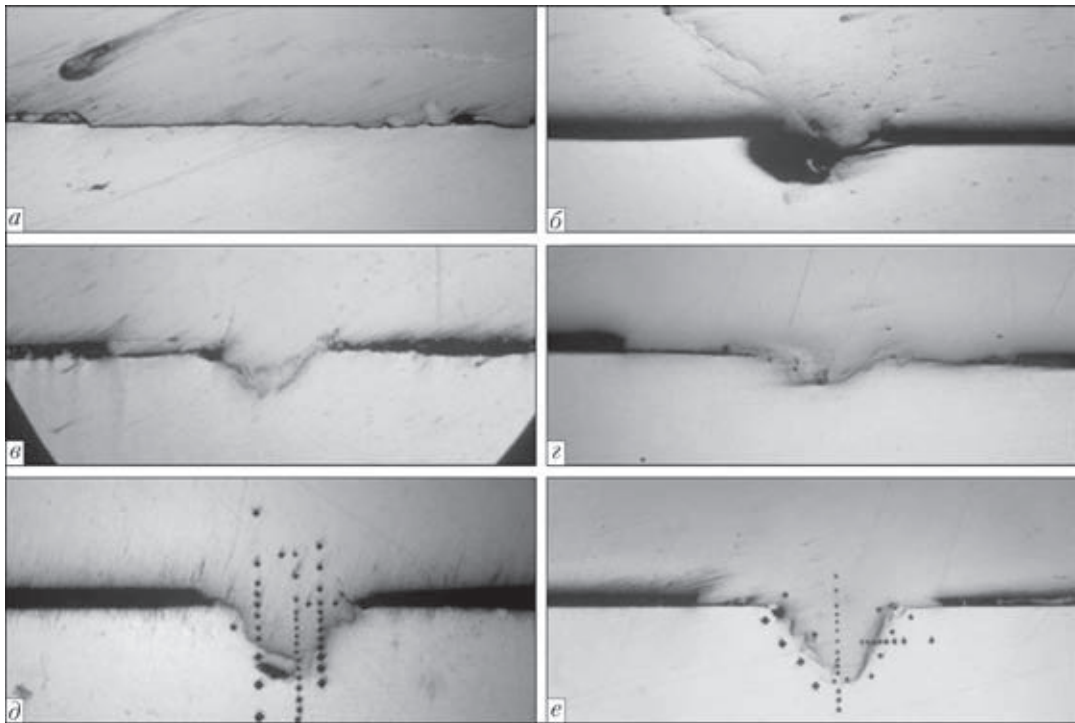


Рис. 3. Поперечный макрошлиф ( $\times 100$ ) сварного соединения: *a* — участок № 1, глубина 1 мм; *б* — участок № 2, глубина 3 мм; *в* — участок № 3, глубина 4,5 мм; *г* — участок № 4, глубина 6 мм; *д* — участок № 5, глубина 7,5 мм; *е* — участок № 6, глубина 9,5 мм

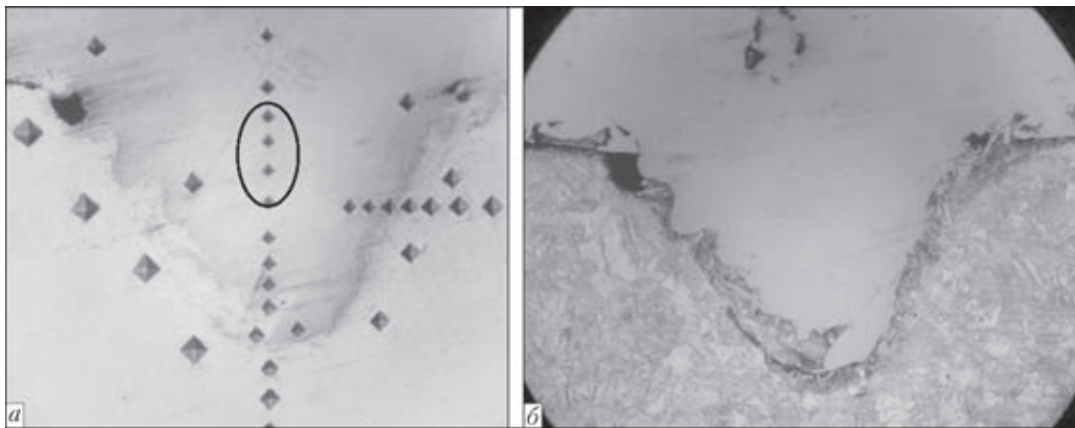


Рис. 4. Макрошлиф ( $\times 250$ ) одного участка сварного соединения с неполным проплавлением после измерения микротвердости (*a*) и после травления (*б*) (в верхней части 12X18H10T, в нижней Л63)

около 1,5...2 мм, фотографирование и исследование механических свойств повторялось. Как видно из представленных фотографий различных по глубине участков одного образца, соединение является несплошным, при этом металлографические исследования показали, что участки, где соединения образовывались, имеют промежуточный слой в виде закристаллизовавшейся механической смеси из стали 12X18H10T и латуни Л63. У данных участков значения микротвердости отличаются незначительно.

На рис. 4 представлена макроструктура соединений с отпечатками индентора, часть крупных отпечатков в левой части фотографии (рис. 4, *a*) была получена при нагрузке  $HV\ 1$ . Однако поскольку необходимо было выявить достаточно узкие зоны перехода, а сплавы имеют относительно невысо-

кие значения твердости, то основные измерения проводили при нагрузке  $HV\ 0,5$ . На фотографиях как до травления, так и после отчетливо видны линии сплавления, дефекты в виде пор, структурные изменения после термического влияния лазерного луча. Микротвердость различных участков стали после лазерного воздействия находится в диапазоне  $HV\ 1 = 1700...2500$  МПа, причем максимальные значения, представленные в центральной части фотографии (рис. 4, *a*), линия сплавления латуни-сталь — в диапазоне  $HV\ 1 = 1050...1750$  МПа, основной металл латуни — в диапазоне  $HV\ 1 = 870...1050$  МПа.

На рис. 5, *a*, где представлен шлиф образца, не подвергнутого термической обработке, отчетливо видно глубину проплавления лазерным лучом, практически полное отсутствие сплавления стали и латуни, на

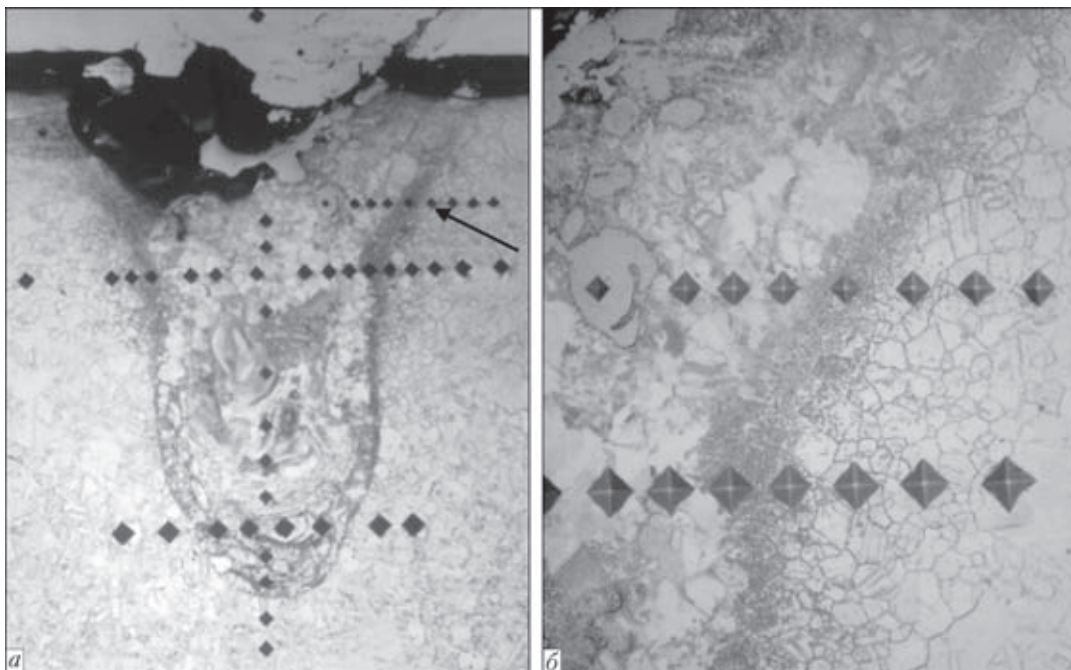


Рис. 5. Макрошлиф сварного соединения с минимальным проплавлением: *a* — общий вид, латунь,  $\times 250$ ; *б* — участок сплавления,  $\times 800$

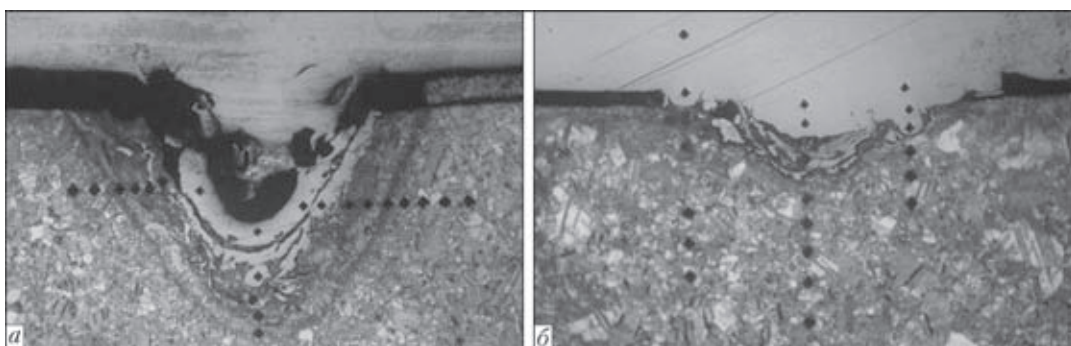


Рис. 6. Макрошлиф ( $\times 100$ ) сварных соединений после термической обработки, полученных по режиму № 1 (*a*) и 2 (*б*)

рис. 5, *б* — структурные изменения на линии сплавления, основной металл — лазерное воздействие, участки латуни с вкраплениями стали. Микротвердость на рис. 5, *б* измеряли при нагрузках  $HV 0,25$  (верхняя линия отпечатков) и  $HV 0,5$  (нижняя линия). Как видно, при меньшей нагрузке удалось измерить именно значения линии сплавления, где микротвердость латуни сопоставима со значениями стали и находится в диапазоне  $HV 1 = 1500 \dots 1700$  МПа.

Макрошлифы образца с небольшим участком сплавления, подвергнутого термической обработке по режиму 1 и 2 (табл. 2), представлены на рис. 6, *a*, *б*. Термическую обработку данных соединений проводили с целью взаимной диффузии компонентов сплавов для увеличения прочности соединения. На рисунках видно, что после термической обработки произошло уравнивание структуры, значения микротвердости данного участка ЛБЗ не имеют резких перепадов в сравнении с образцами, не подвергнутыми термической обработке. Однако ожидаемый эффект увеличения

прочности соединения за счет взаимной диффузии обнаружить не удалось.

### Выводы

1. Лазерная сварка проплавным швом может рассматриваться как перспективный метод получения биметаллических соединений, поскольку процесс может быть автоматизирован, позволяет соединять металлы различных комбинаций в широком диапазоне толщин.

2. Механические свойства соединений после сварки неоднородны, поэтому для их уравнивания при необходимости можно применять термическую обработку.

*Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ в рамках постановки № 220, заявка № 14z50.31.0023.*

1. Белый А. И. Влияние основных технологических параметров плазменной наплавки на свойства композиционного наплавленного металла // Автомат. сварка. — 2010. — № 6. — С. 30–33.

2. *Исследование* структуры и эксплуатационных свойств наплавленного металла для восстановления и упрочнения прокатных валков / И. А. Рябцев, И. А., Кондратьев, В. Г. Васильев и др. // Там же. – 2010. – № 7. – С. 14–19.
3. *Разработка* композитов на основе циркония и нержавеющей стали для изготовления переходников к конструкциям АЭС / И. М. Неклюдов, Б. В. Борц, А. Т. Лопата // Там же. – 2010. – № 8. – С. 52–58.
4. *Камеры* для сварки металлов взрывом / П. С. Шленский, Л. Д. Добрушин, Ю. И. Фадеенко, С. Д. Венцев // Там же. – 2011. – № 5. – С. 57–62.
5. *Люшинский А. В.* Использование нанодисперсных порошков металлов при диффузионной сварке разнородных материалов // Там же. – 2011. – № 5. – С. 39–42.
6. *Соколов М., Салминен А.* Влияние качества поверхности кромок соединения на эффективность лазерной сварки низколегированных сталей // Там же. – 2013. – № 2. – С. 49–53.
7. *Кироц В., Гуменюк А., Ретмайер М.* Особенности лазерной сварки аустенитных и аустенитно-ферритных нержавеющей сталей с высоким содержанием марганца // Там же. – 2012. – № 1. – С. 12–17.
8. *Хаскин В. Ю.* Лазерная сварка нахлесточных соединений низкоуглеродистых сталей прорезными швами // Сварщик. – 2011. – № 5. – С. 24–26.

Поступила в редакцию 11.12.2013

### **Разработка и применение инновационных технологий и передовых научных разработок компании «СТИЛ ВОРК» в области защиты технологического оборудования от различных видов износа**

ООО «Стил Ворк» — стабильно развивающееся предприятие, основным видом деятельности которого является разработка и применение инновационных технологий и передовых научных разработок в области защиты технологического оборудования от различных видов износа, в том числе при помощи производимых биметаллических износостойких листов SWIP®, получаемых методом наплавки, и коррозионностойких листов, получаемых импульсным методом.

Компания «Стил Ворк» является членом Академии горных наук Украины и входит в Общество сварщиков Украины, а также плодотворно на протяжении многих лет сотрудничает с Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, ГП «ГПИ «КРИВБАССПРОЕКТ», ГП «ГИПРОКОКС», ГП «УКРГИПРОМЕЗ».

ООО «Стил Ворк» обладает собственной запатентованной технологией и производственной линией по изготовлению биметаллических листов SWIP® и изделий из них. За годы своего существования компания накопила бесценный опыт в области повышения ресурса оборудования при различных технологических переделах производства.

В 2013 г. компанией освоено производство биметаллических коррозионностойких листов, производимых импульсным методом (так называемая сварка взрывом). Импульсный метод представляет собой процесс создания неразъемного соединения, необходимым условием протекания которого является наличие значительных пластических деформаций. Этим методом получаем соединения практически всех металлов и сплавов. В особых случаях импульсный метод используется для нанесения покрытий на готовые детали.

Основными потребителями коррозионностойкого биметалла являются химическое и нефтехимическое машиностроение. Биметалл активно используется при изготовлении реакторов, колонн, теплообменного оборудования, различных емкостей, аппаратов воздушного охлаждения. В большинстве это биметаллический лист, в котором прочностную нагрузку несет относительно толстый слой из недорогой низколегированной стали, а функцию коррозионной защиты выполняет относительно тонкий слой из нержавеющей стали, титана, латуни или циркония. Возможно также изготовление многослойных (3, 4, 5 и т.д. слоев) металлов.

Применение коррозионностойких биметаллических листов при незначительном росте цены позволяет увеличить устойчивость оборудования к агрессивным средам, получив при этом высокие технологические свойства оборудования, либо, наоборот, значительно снизить стоимость оборудования благодаря применению биметаллических листов, взамен однослойных листов, например из нержавеющей стали.

**Продукция компании «СТИЛ ВОРК» сможет найти широкое применение для защиты от износа технологического оборудования любого предприятия.**

**Более подробная информация на сайте: [www.steel-work.net](http://www.steel-work.net)**