

## Соединять прочнее

Ученые Института физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН в сотрудничестве с коллегами — инженерами Челябинского трубопрокатного завода (ЧТПЗ), входящего в Трубную металлургическую компанию, и Газпром ВНИИГАЗ установили, что применение гибридной лазерно-дуговой сварки может существенно повысить ударную вязкость сварных соединений при изготовлении труб большого диаметра.

В России трубы с диаметром более 1000 мм широко используются при строительстве и ремонте магистральных газо- и нефтепроводов, которые часто бывают проложены в районах со сложными геолого-климатическими условиями. Сегодня материалом для таких труб служат низкоуглеродистые низколегированные стали бейнитного класса. Чтобы придать металлу нужную форму, стальной лист сгибают и соединяют в месте контакта. «Фактически два края металла состыковывают и расплавляют до жидкого состояния, и уже при последующей кристаллизации они становятся единым целым. В этом суть сварки любого металла, не только стали», — поясняет старший научный сотрудник ИФМ кандидат технических наук Наталья Терещенко.

К трубам предъявляется ряд требований по химическому составу, показателям свариваемости, механическим свойствам при растяжении и ударной нагрузке. И если критерии по прочностным и пластическим характеристикам одинаковы

как для основного металла, так и для сварного соединения, то в отношении ударной вязкости для сварного соединения допускаются пониженные требования. «Это не от хорошей жизни, а от того, что получить более высокую ударную вязкость, используя традиционные методы сварки, трудно», — говорит Терещенко.

На ЧТПЗ решили попробовать пойти другим путем и применить гибридную лазерно-дуговую сварку (ГЛДС) в сочетании с привычной дуговой сваркой под слоем флюса (ДСФ). Результаты оказались удачными, но металлургам нужно было убедить в эффективности новой технологии наиболее крупного потребителя их продукции — Газпром. Для этого и были привлечены ученые из лаборатории физического металловедения ИФМ. Вместе с Натальей Терещенко от института в этой работе участвовала главный научный сотрудник доктор технических наук Ирина Яковлева.

Главное отличие комбинированной технологии — появление узкого корневого шва,

занимающего в высоту около одной трети толщины металла. Формируется такой шов за счет одновременного воздействия лазера и электрической дуги. Лазерный луч глубоко проникает в материал и стабилизирует дуговой разряд, при этом в общую сварочную ванну вводится присадочный материал, который заполняет образованную



лазерным лучом воронку и обеспечивает надежное соединение кромок. Внутренние и наружные облицовочные швы выполняются по традиционной технологии ДСФ. В итоге комбинированный способ сварки позволяет сократить тепловложение и увеличить эффективность производства.

Однако потенциально проблематичной особенностью технологии ГЛДС является высокая скорость охлаждения металла околошовной зоны. Дело в том, что для железа и его сплавов характерен полиморфизм — способность существовать в различных кристаллических

модификациях, которые в зависимости от температуры сменяют друг друга. Высокотемпературная графитированная структура стали, аустенит, при медленном охлаждении он превращается в феррит, а при резком — в мартенсит. Обе модификации обладают объемно-центрированной кубической решеткой, и

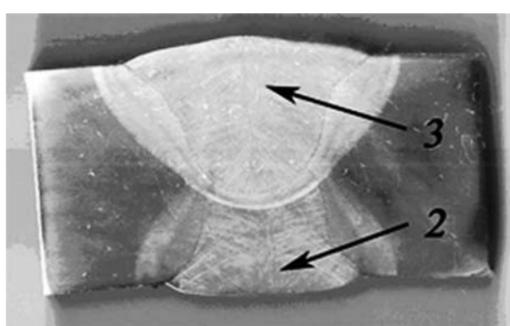
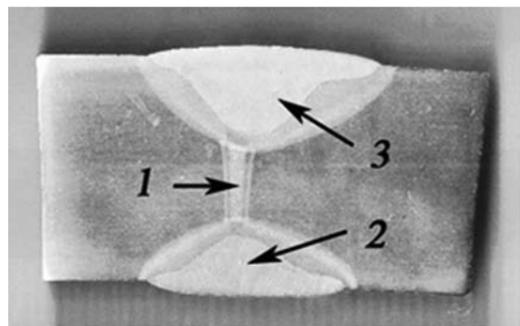
сталлической структуры бейнита с преобладанием у него реечной морфологии, отличающейся более высокой твердостью. В сварном соединении, выполненном только с помощью ДСФ, бейнитные зерна крупные и имеют в равных пропорциях как реечную, так и глобулярную морфологию. Другое практически важное следствие измельчения зеренной структуры — изменение уровня ударной вязкости.

— Измельчение зерна — один из немногих механизмов, который помогает увеличить прочность с минимальной потерей пластичности и вязкости, — поясняет Терещенко. — Даже если появляется маленький дефект в виде зарождающейся трещины, она очень быстро упирается в дислокации — дефекты кристалла, которых много в бейнитной структуре, и не развивается. Материал сопротивляется этой нагрузке до тех пор, пока где-то в другом месте не появится новая трещинка, но и она будет тормозиться.

Выводы о повышенной ударной вязкости сварных соединений, выполненных с помощью комбинированной технологии, были подтверждены в ходе ударных испытаний и фрактографического анализа поверхности получившихся изломов.

**Павел КИЕВ**  
Вверху — цех по производству труб большого диаметра Челябинского трубопрокатного завода «Высота 239»;

Внизу — макроструктура сварных соединений труб толщиной 30 мм, выполненных с применением инновационной (на фото слева) и традиционной технологии (на фото справа)



## Мобильность населения по данным сотовой связи

В современных условиях важно сохранить целостность экономического пространства регионов, обеспечивающую территориальную равномерность их развития, а также высокую скорость трансфера технологий из центра на периферию. При этом особое значение приобретает межмуниципальная мобильность населения. С одной стороны, она характеризует транспортную инфраструктуру, с другой — интенсивность экономического взаимодействия.

Сотрудники лаборатории экономической генетики регионов Института экономики УрО РАН проанализировали

геоинформационные матрицы корреспонденций перемещений населения Свердловской области, предоставленных российскими сотовыми операторами. Используя геоинформационные системы и язык программирования Python, они оценили интенсивность и повышение эффективности мобильных потоков для муниципальных образований региона.

Результаты показали, что система пространственных взаимосвязей Свердловской области включает два явно выраженных центра притяжения — городские округа Екатеринбург и Нижний Тагил, при существенном доми-

нировании первого. В то же время для большинства периферийных муниципальных образований (МО) межмуниципальные коммуникации практически отсутствуют.

Выявлены гораздо более интенсивные и разветвленные взаимосвязи Нижнего Тагила с другими МО, чем можно было бы ожидать — устойчивые корреспонденции с несколькими муниципалитетами на юге области, превосходящие по объему их корреспонденции с Екатеринбургом, хотя конфигурация сети предполагает обратное.

Для 5% МО исследованием установлено интенсивное и диверсифицированное

межтерриториальное взаимодействие, для 34% — эти же показатели можно охарактеризовать как низкие. Интенсивность внутренних связей выше, чем внешних, в таких городских округах как Уральский, Серовский, Тавдинский, Артемовский, Качканарский, Североуральский, Екатеринбург, Красноуральск. В Малышевском, Верх-Нейвинском, Каменском городских округах — наоборот. То есть налицо значительные диспропорции в уровне коммуникаций муниципальных образований Свердловской области.

По мнению специалистов ИЭ УрО РАН, существующая

структура пространственных связей для населенных пунктов, находящихся в зоне притяжения к центрам Нижнетагильской и Екатеринбургской агломераций, в дальнейшем сохранится и укрепится.

Подробнее с результатами исследования можно ознакомиться в статье: Martynenko, A., Myslyakova, Yu., Matushkina, N. & Neklyudova N. (2024). Analyzing regional connectivity through population mobility data from cellular operators. R-Economy, 10(2), 159–173. <https://doi.org/10.15826/recon.2024.10.2.010>

**Е. ИЗВАРИНА**  
по материалам сайта ИЭ УрО РАН