

Рельсовая сталь

для высокоскоростных линий

Требования к параметрам взаимодействия колес и рельсов как по поверхности катания, так и по рабочей грани рельсов для высокоскоростных железнодорожных линий должны быть намного жестче, чем для обычных железных дорог. Чтобы обеспечить плавность хода поездов при движении с высокой скоростью, инфраструктура, верхнее строение пути и все его компоненты должны создавать оптимальные условия для нормальной работы рельсов. Что касается непосредственно самих рельсов, то важнейшими являются характеристики металла и качество изготовления (в том числе по соблюдению профиля поперечного сечения и гладкости поверхности).

С технической точки зрения рельсы должны иметь достаточную механическую прочность, ударную вязкость, износостойкость, однородность и стабильность характеристик, а с экономической точки зрения срок их службы должен быть достаточно продолжителен, чтобы оправдать затраты, связанные с капитальным, периодическим ремонтом и текущим содержанием пути.

Основные требования к рельсам

Общие требования

Железнодорожные рельсы работают в максимально сложных условиях, причем их состояние оказывает прямое влияние на безопасность движения поездов. Поэтому необходима предельная строгость в отношении требований к использованию рельсов. Более того, некоторые эксплуатационные характеристики рельсов противоречат друг другу, поэтому рациональный выбор можно сделать только путем их тщательного сопоставления.

При рассмотрении эксплуатационных требований к рельсам не-

обходимо иметь в виду следующие аспекты:

- улучшенные характеристики по прочности и износостойкости позволяют обеспечить более высокие показатели пропускной способности и срока службы. Срок службы рельсов напрямую зависит от их прочности и твердости. Что касается рельсов для обычных железных дорог, то следует выделить присущие им дефекты и повреждения, которые обусловлены смешанным движением пассажирских и грузовых поездов, большими осевыми нагрузками и высокой плотностью движения. Можно отметить, что по мере усиления путевой структуры и утяжеления рельсов их дефекты и повреждения все чаще концентрируются в головке, где преобладают усталостные явления, выкрашивание металла на поверхности, смятие и волнообразный износ. Поэтому необходимо улучшать характеристики рельсовой стали для уменьшения дефектообразования;
- безопасность и надежность обеспечиваются за счет повышения сопротивляемости образованию дефектов контактно-усталостного происхождения в целях предотвращения отслаивания металла на рабочей грани головки рельса и

последующего возникновения поперечных трещин. Рельсы, длительное время подвергающиеся периодически повторяющимся нагрузкам, должны иметь повышенную усталостную прочность и сопротивляемость ударным нагрузкам;

- улучшенные эксплуатационные характеристики по сопротивляемости неравномерному износу и равномерной твердости по всей длине рельса способствуют предотвращению волнообразного износа;
- оптимальные характеристики по свариваемости создают благоприятные условия для применения бесстыкового пути;
- оптимальные характеристики по обрабатываемости создают благоприятные условия для достижения высокого качества стрелочных переводов;
- оптимальный химический состав рельсовой стали создает благоприятные условия для применения термической обработки рельсов, улучшающей их прочностные характеристики;
- соблюдение жестких требований к допускам на геометрические размеры, конфигурацию и качество поверхности (особенно рабочей грани рельсов) способствует уменьшению склонности к возникновению периодических неровностей пути.

Специфические требования к рельсам для высокоскоростных линий

Условия высокоскоростных железнодорожных перевозок в разных странах во многом не совпадают, различаясь, в частности, как общими характеристиками путевой структуры, так и выбором рельсовой стали. Как правило, высокоскоростным линиям свойственны кривые большого радиуса и сравнительно невысокие осевые нагрузки, что обуславливает относительно меньшие силы в динамическом взаимодействии колес и рельсов. Тем не менее высокая скорость движения поездов приводит к не-

обходимости предъявления очень жестких требований к рельсам, которые включают чистоту стали, качество поверхности, соблюдение геометрических размеров и визуальную однородность.

Обеспечение высокой чистоты металла и повышение надежности рельсов. Основными мерами и технологиями в металлургическом производстве, используемыми в разных странах при выплавке рельсовой стали для высокоскоростных линий, являются следующие:

- предварительная обработка расплавленного металла, включающая десиликацию (удаление кремния из металла) при выходе стали из выпускного отверстия печи, а также дефосфоризацию и десульфуризацию (удаление фосфора и серы) в резервуаре плавильной машины. Может быть также применена технология выплавки стали в сдвоенной печи, при которой сначала в одном конвертере удаляются фосфор и сера, а затем в другом сталь переплавляется в целях еще большего уменьшения содержания вредных примесей;
- вторичная очистка вне печи, позволяющая управлять составом и температурой металла таким образом, чтобы еще в большей степени уменьшить содержание примесей и обеспечить нужную чистоту расплава на момент его выпуска из печи;
- вакуумная дегазация расплава, при которой достигается снижение содержания в металле таких газов, как водород и кислород, что позволяет снизить их влияние на эксплуатационные свойства рельсовой стали;
- непрерывное литье заготовок, совмещенное с применением технологии защитного литья, которая может эффективно предотвратить вторичные окислительные процессы в расплавленной стали при литье и таким образом значительно повысить ее чистоту, что позволит существенно повысить качество поверхности заготовки.

Обеспечение высокой точности прокатки и повышение качес-

тва рельсов. Практика показала, что процесс традиционного литья под давлением в сочетании с пропуском через прокатные вальцы не может удовлетворить требованиям к рельсам для высокоскоростных линий в таких аспектах, как износостойкость, обезуглероживание, точность размеров, геометрическая (визуальная) прямолинейность и качество внутренней и внешней поверхности. В частности, такие присущие традиционному процессу недостатки, как геометрическая асимметрия, несоблюдение допусков на размеры поперечного сечения, наличие отпечатков валков на поверхности после прокатки заготовки и «мертвой зоны», не позволяющей точно контролировать количественные параметры, затрудняют повышение качества рельсов. Новый процесс изготовления рельсов, представленный в качестве универсального метода прокатки, справляется с указанными проблемами.

Основные особенности этого метода следующие:

- непрерывное литье блюмов для улучшения слабовыраженной текстуры заготовки;
- плавное регулирование температурного режима внутри печи для предотвращения обезуглероживания и неравномерного нагрева заготовки;
- дефосфоризация водой под высоким давлением для максимального уменьшения числа дефектов прокатки в стальной заготовке из-за ее окисления;
- протяжка заготовки с непрерывным компьютерным контролем геометрических размеров изделия в процессе его изготовления для обеспечения точных очертаний профиля рельса;
- длинномерная прокатка, охлаждение и правка с реверсивным отгибанием для минимизации остаточного изгиба и снижения остаточных напряжений после правки, а также для продления срока службы рельсов по факторам усталости;

- применение рельсопильных и рельсоверлильных станков с твердосплавными режущими пластинами для повышения точности механической обработки рельсов с учетом изменения размеров в зависимости от температуры окружающей среды.

Основные виды дефектов и повреждений рельсов

Дефекты и повреждения рельсов, характерные для высокоскоростных линий

Вследствие особой значимости рельсов железные дороги и металлургическая промышленность уделяют большое внимание разработке технологий, в которых дефекты и повреждения являются основой для оценки всех проблем, связанных с состоянием рельсов. Следует отметить, что руководящие документы по классификации дефектов и повреждений, принятые в разных странах, различны, поскольку основаны на технологиях изготовления, условиях эксплуатации и методах обследования рельсов, характерных для каждой страны.

Поскольку для условий эксплуатации высокоскоростных линий типичны высокая скорость движения поездов, невысокие осевые нагрузки от моторвагонного подвижного состава и относительно небольшой вертикальный и продольный износ рельсов, основными становятся дефекты и повреждения поверхности рельса контактно-усталостного происхождения. В относящихся к данному вопросу документах зафиксированы три основных типа усталостных дефектов и повреждений, обусловленных силовым взаимодействием в системе колесо — рельс: трещины в головке рельсов, скрытые дефекты, а также раковины, каверны и т. п.

Трещины в головке рельсов. Они представляют собой мелкие непрерывно повторяющиеся дефекты, проявляющиеся в виде наклонных линий и выкраши-

ваний на поверхности катания и рабочей грани головки на расстоянии 0,5 – 10 мм. Поверхностные трещины изначально образуются под поверхностью катания с углом в 10 – 15 град к продольной оси рельса и затем углубляются в головку под все более увеличивающимся углом. Такие наклонные трещины могут, сливаясь друг с другом, образовывать отслоения и отколы, которые в свою очередь преобразуются в скрытые дефекты. Если своевременно не принять корректирующие меры, такие дефекты могут в конечном счете привести к поперечному излому рельса.

Скрытые дефекты. Они обычно возникают на поверхности катания рельса, в большинстве случаев локализуясь в сечениях, находящихся в прямых или в кривых большого радиуса, причем это явление характерно именно для высокоскоростных линий. У рельсов со скрытыми дефектами на поверхности катания можно увидеть трещины V-образной формы, образующиеся в половине случаев наличия таких дефектов, причем эта зона бледнее, чем более темная окружающая поверхность. Изначально это поверхностные трещины с внутренней стороны поверхности катания вблизи выкружки, затем они распространяются внутрь и по направлению движения под малым углом. В то же время из-за пластической деформации материала вокруг трещины образуется локальная выщербина, в месте которой контакт колеса с рельсом прерывается, что приводит к коррозии и эрозии. Поэтому рельс в месте образования выщербины становится темнее. Скрытые дефекты и трещины в головке рельса имеют одинаковую природу, и их возникновение обусловлено пластической деформацией металла на поверхности и образованием усталостных трещин в деформируемом слое рельса. В основном их можно отнести к дефектам вида выкрашивания металла слоями на поверхности катания.

Раковины и каверны. Они образуются в полосе между осью и выкружкой головки рельса (на расстоянии 10 – 25 мм от оси) и обусловлены характером распределения периодической кластеризации в протяженной области волнообразного износа. Расстояние между такими периодически повторяющимися дефектами и гребнями волны износа составляет 20 – 100 мм. Зачастую имеет место концентрация мелкойчешуйчатых раковин в группы длиной 5 – 15 мм, имеющие входной угол около 45 град относительно оси рельса и направленные наклонно вниз от поверхности катания под углом 20 – 30 град с расширением. Такого рода дефекты появляются в рельсах только при движении поездов со скоростью 200 км/ч и более, концентрируясь в основном на внешнем рельсе кривых большого радиуса или появляясь попеременно на обоих рельсах прямых, сосуществуя при этом с волнообразным износом. В соответствии с полученными экспериментальными данными раковины и каверны могут также возникать в том случае, когда волнообразный износ рельса очень мал, а процессы как роста существующих, так и образования новых дефектов подобны процессу развития волнообразного износа. Когда поезд движется с высокой скоростью, на переднем фронте гребня волны возникают повышенные контактные напряжения, обуславливающие зарождение в этих зонах раковин и каверн.

Основные дефекты и повреждения рельсов на железных дорогах Китая

В настоящее время на железных дорогах Китая еще нет высокоскоростных (в полном смысле слова) линий и, естественно, опыта их эксплуатации. В то же время, помимо информации о положении дел в данном вопросе на зарубежных высокоскоростных линиях, в распоряжении китайских специалистов имеются сведения об экс-



Рис. 1. Опытный скоростной поезд E2, построенный компанией Kawasaki Heavy Industries, проходит испытания на экспериментальном полигоне вблизи Пекина

плуатации отечественных линий с повышенной скоростью движения поездов (т. е. линий, принадлежащих к разряду не высокоскоростных, а скоростных, рис. 1 и 2), которые можно использовать в качестве исходных данных для детального анализа характеристик и случаев возникновения и развития дефектов и повреждений рельсов, а также выработки предложений по выбору рельсовой стали для будущих высокоскоростных линий в Китае.

С момента появления в 1997 г. на железных дорогах Китая первых линий с движением поездов со скоростью более 120 км/ч общая их протяженность достигла 13 тыс. км. Хотя на этих линиях до сих пор продолжается смешанное грузовое и пассажирское движение, скорость пассажирских поездов выросла. Поэтому ситуация с рельсами здесь характеризуется появлением и развитием дефектов и повреждений, не только присутствующих линиям в основном с грузовыми перевозками, но и многих других, которые ранее не встречались.

Основные дефекты и повреждения, характерные именно для таких линий, можно обобщить следующим образом.

Попеременный (поочередный) и неравномерный износ боковых граней рельсов обеих нитей пути в прямых. На прямолинейных участках линий со смешанным движением по мере роста скорости пассажирских поездов появи-



Рис. 2. Первый китайский скоростной электропоезд серии X2000, построенный по технологии компании ABB (Швеция)

лось большое число мест с попеременным и неравномерным износом боковых граней рельсов, что привело к ухудшению эксплуатационных характеристик пути. Данному явлению присущи некоторые основные черты: волны неравномерного износа боковых граней рельсов непрерывно возникают через одинаковые промежутки с очередностью слева направо; гармоническая периодичность волн носит случайный характер; степень износа рельсов больше в средней части, чем на концах; длина волн для конкретного участка примерно одинакова. В процессе развития попеременного неравномерного износа боковых граней рельсов в прямых при постоянстве длины волны амплитуда износа постепенно увеличивается от 3 до 13 мм по мере накопления пропущенной поездной нагрузки. Исследования с помощью математической модели и натурные проверки показали, что основной причиной такого рода износа является влияние и нестабильность движения поездов; кроме того, влияние оказывают нарушения прямолинейности пути в плане.

Волнообразный износ рельсов. Волнообразный вертикальный из-

нос рельсов, появляющийся на участках со скоростью движения поездов, превышающей 120 км/ч, фактически подобен волнообразному износу на линиях с преимущественно грузовым движением. Теоретические исследования этого вопроса и измерения на местах с целью изучения данного явления на линии со скоростным движением Гуанчжоу — Шэньчжэнь были осуществлены научно-исследовательским институтом Гуанчжоуской железнодорожной компании. Они показали, что волнообразный износ есть следствие состояния пути и имеет место главным образом вблизи стрелочных переводов, в кривых, в зонах осадки пути, зонах с недостаточно или излишне (по сравнению с соседними зонами) уплотненным балластом, а также в местах с усложненной путевой структурой. Волнообразный износ рельсов на линии Гуанчжоу — Шэньчжэнь по большей части относится к износу длинноволнового типа с длиной волны 0,2–1,7 м (причем в этом диапазоне преобладают волны длиной порядка 1 м) и с амплитудой 0,3–1,2 мм (в этом диапазоне преобладают амплитуды порядка 0,6 мм). С точки зрения

взаимодействия в системе колесо — рельс и материаловедения одной из основных причин волнообразного износа являются неудовлетворительные прочностные характеристики рельсовой стали и качество отделки поверхности рельсов.

Волнообразное искривление рельсов. Это дефект, который по своей природе отличается от волнообразного вертикального износа, поскольку образуется и развивается не в процессе движения поездов, т. е. приложения поездной нагрузки, а является результатом периодического деформирования с длиной волны около 3 м в процессе изготовления рельсов из-за эксцентриситета или эллипсоидности валков правильной машины. Такая периодическая непрямолинейность рельсов приводит к росту всех действующих на верхнее строение пути динамических нагрузок при движении поездов и переносу их на балластный слой и земляное полотно, что в дальнейшем по принципу порочного круга еще больше усугубляет данный дефект и его последствия. Волнообразное искривление рельса отражается на поверхности катания в виде явной волнообразной же нерегулярности. Это явление характерно, в частности, для действующих линий, на которых была повышена скорость движения поездов.

Косые трещины и отслаивания металла. Развитие косых трещин и отслаиваний в рельсах относится к сложному явлению трещинообразования на упрочненной поверхности с последующим распространением дефектов в глубину под определенным углом и постепенным ускорением процесса растрескивания. Характеристики развития дефектов и повреждений такого рода явно отличны от характеристик выкрашиваний пластинчатого типа, которые в большом числе образуются в кривых. Косые трещины и отслаивания возникают в основном на рабочей грани рельсов и проявляются в виде косых линий. Они весьма опасны, так как могут

привести к боковому излому рельса еще до того, как разовьются в отколы, что является еще одним различием между ними и выкрашиваниями пластинчатого типа. Косые трещины и отслаивания металла рельсов были обнаружены недавно на линии Гуанчжоу — Шэньчжэнь, где скорость поездов относительно высокая, а осевые нагрузки низкие, а также на линии Пекин — Гуанчжоу с преимущественно грузовым движением. Согласно результатам исследования, выполненного Академией железнодорожных наук Китая (CARS), появление и развитие косых трещин и отслаиваний в рельсах имеют следующие закономерности:

- дефекты этого вида характерны для всех марок рельсовой стали, используемых в настоящее время в Китае, включая такие, как U71Mn, PD3, U78 (французская), U78 термоупрочненная (японская), а также низколегированная австрийская;
- по скорости распространения таких дефектов в металле (от высокой до низкой) рельсовая сталь разных типов располагается в следующем порядке: перлитная, низколегированная, бейнитная;
- чем меньше промежутки между перлитными слоями и размер перлитных групп, тем длиннее срок службы рельсов до усталостного разрушения металла. Следовательно, характеристики закаленных рельсов по контактно-усталостной выносливости лучше, чем горячекатаных;
- чем меньше остаточные напряжения, тем выше контактно-усталостная выносливость, т. е. длиннее срок службы рельсов до усталостного разрушения металла;
- косые трещины и отслаивания не обусловлены дефектами металлургического производства, выбором химического состава стали или ее механическими характеристиками;
- дефекты данного вида являются следствием влияния избыточных локальных напряжений в головке рельсов, причинами которых, в

свою очередь, могут быть влияние подвижного состава при движении и неоптимальный профиль рельсов, полученный при шлифовании.

Причины дефектов и повреждений рельсов очень сложны. На железных дорогах Китая неуклонно растут объемы перевозок и скорость поездов, расширяются масштабы тяжеловесного движения. Сформулированный в 1980-х годах девиз «Энергично прикладывать значительные усилия, чтобы повышать массу, скорость движения поездов и грузонапряженность перевозок» актуален и сейчас. С того времени реализованы четыре этапа программы повышения скорости движения поездов. При том, что фундаментальных изменений условий эксплуатации не произошло и присущие рельсам свойства в основном остались неизменными, их механические характеристики шаг за шагом улучшались, что привело к возникновению дефектов и повреждений новых видов вместо случившихся ранее. Вместе с тем такие новые дефекты пока не наблюдались на линиях с движением поездов примерно с той же скоростью, но с более высокими осевыми нагрузками и грузонапряженностью, чем на линии Гуанчжоу — Шэньчжэнь. Поэтому необходимы новые исследования и анализы других факторов, таких, как изменения в организации движения поездов и внедрение иных технических средств.

Выбор рельсовой стали для высокоскоростных линий

Сталь проверенных марок

В разных странах в процессе развития железнодорожного транспорта были разработаны свои марки рельсовой стали, адаптированные к местным условиям с учетом состояния металлургической базы. До 1980-х годов на железных дорогах Китая в основном использовали рельсовую сталь

марок U71Mn и U74 с параметрами прочности 90 и 80 кг соответственно, которые нельзя адаптировать к современным условиям из-за недостаточной допустимой нагрузки и короткого срока службы рельсов. Для того чтобы решить задачу увеличения срока службы рельсов, специалисты железных дорог и металлургической промышленности совместно разработали две марки рельсовой стали: PD2 и PD3. Высокоуглеродистая сталь марки PD3 разработана на основе сплава U71Mn, имеющего в своем составе углерод, кремний и марганец с микроприсадкой ванадия для придания новому сплаву более высокого предела прочности, который после горячей прокатки достигает 980 МПа. Дополнительно проведенная в 1993 г. экспертиза подтвердила, что параметр σ_b стали PD3 даже превышает 980 МПа, т. е. более чем на 10 % выше, чем стали U71Mn, параметр δ_5 выше на 8 %, износостойкость выше более чем на 50 %, результаты копровых ударных испытаний соответствуют техническим требованиям, характеристики по свариваемости удовлетворительные. Все это указывает, что сталь марки PD3 может заменить сталь марки U71Mn при изготовлении рельсов. С того времени объем поставок новой стали постоянно увеличивался. Каждый год из сотен тысяч тонн стали PD3 изготавливались рельсы, которыми при капитальном ремонте пути заменяли старые, что позволило увеличить срок службы рельсов и снизить число серьезных дефектов и повреждений. Таким образом, рельсовая сталь марки PD3 так же, как UIC 900A и U71Mn, успешно прошла проверку временем в реальной эксплуатации.

Выбор уровня механических характеристик

Высокоскоростные и преимущественно грузовые линии имеют разные условия эксплуатации рельсового пути и внешние усло-

вия перевозок, поэтому технические схемы решений для достижения рационального выбора уровня прочности (прочностных характеристик) рельсов также различны. На высокоскоростных линиях с хорошо соблюдаемой геометрией рельсовой колеи и относительно малыми контактными напряжениями во взаимодействии колес и рельсов в противоположных линиях с тяжеловесным движением нет нужды в использовании закаленных рельсов, за исключением специальных участков. В свете условий эксплуатации высокоскоростных линий в настоящее время можно судить, что рельсовая сталь марки UIC 900A по параметру прочности примерно соответствует осевой нагрузке 17 т и менее, а сталь с параметром прочности 100 кг — осевой нагрузке 19 т. Одной из важных характеристик рельсов высокоскоростных линий является ударная вязкость. Относительное удлинение рельсовой стали марки UIC 900A может достигать величины 10 %. Номинальным критерием относительного удлинения рельсовой стали китайского производства является величина 8 %, но испытания реальных рельсов показали, что фактическое его значение обычно превышает 10 %, т. е. находится на одном уровне со сталью UIC 900A. Для дальнейшего совершенствования прочностных и вязкостных характеристик рельсов есть единственный путь — полная закалка рельсов по всей длине, что, однако, обязательно, так как приводит к существенному удорожанию рельсов при относительно небольшом улучшении характеристик. Исследования и испытания отечественной стали, использованной при изготовлении рельсов для линии Циньхуандао — Шэньян, специализированной на пассажирских перевозках, показали, что ее относительное удлинение превышает 12 %. Из этого можно сделать вывод, что выбор механических характеристик рельсов китайского производства разум-

но обоснован и они соответствуют требованиям, предъявляемым к скоростным линиям.

Чистота металла

Обеспечение высокой чистоты стали, применяемой для изготовления рельсов, может стать основой для улучшения их показателей по износостойкости, надежности и сроку службы и является основным требованием с точки зрения использования рельсов на высокоскоростных линиях. Металлургические предприятия Китая, стремясь соответствовать современному мировому уровню этой отрасли, проводят широкомасштабное обновление сталеплавильного оборудования и готовятся принять активное участие в строительстве будущих высокоскоростных линий.

Установлены следующие четыре требования к чистоте рельсовой стали, в соответствии с которыми строгому контролю подлежит содержание:

- вредных элементов, таких, как сера и фосфор. Необходимо, чтобы фосфора в стали было не более чем 0,025 %, а серы — в интервале между 0,008 и 0,025 %. Если применяется безалюминиевая деоксидация, содержание алюминия в стали не должно превышать 0,004 %;
- газов. Необходимо, чтобы количество водорода в расплаве стали было не более 0,00025 %, а кислорода — не более 0,002 %; при этом водорода в конечном продукте должно быть менее 0,00015 %;
- других элементов. Необходимо, в частности, обеспечить следующее содержание элементов в стали: молибдена — менее 0,02 %, никеля — менее 0,1 %, хрома — менее 0,15 %, меди — менее 0,5 %, титана — менее 0,025 %, сурьмы — менее 0,04 %, олова — менее 0,04 %, меди вместе с оловом — менее 0,35 %, хрома вместе с молибденом, никелем и медью — менее 0,35 %;
- примесей. Необходимо, чтобы количество примесей категории А (сульфидов) не превышало уровня

2, примесей категорий В (оксидов), С (силикатов) и D (оксидов сферической формы), взятых вместе, не превышало уровня 1.

Свариваемость

Применение технологии сварки длинномерных рельсовых плетей продлевает срок службы компонентов системы колесо — рельс, сокращает требуемые объемы работ по текущему содержанию и ремонту пути, обеспечивает плавность хода и уменьшает сопротивление движению поездов благодаря устранению стыковых зазоров и, следовательно, снижению ударных нагрузок и вибраций подвижного состава. Поэтому на высокоскоростных линиях следует укладывать бесстыковой путь. Отсюда рельсовая сталь должна иметь хорошие характеристики по свариваемости, что является главным условием изготовления длинномерных рельсовых плетей. Помимо хорошей свариваемости рельсовой стали, технология сварки должна обеспечивать улучшенные механические свойства сварных стыков. При строительстве специализированной пассажирской линии Циньхуандао — Шэньян был уложен бесстыковой путь с рельсами, изготовленными из стали марки PD3 на металлургических заводах в Аньшане и Паньчжихуа, а также из стали марки UIC 900A французского производства, характеристики свариваемости которых были исследованы CARS.

Результаты исследований рельсов показали следующее:

- твердость шва сварных рельсовых стыков. Соотношение между твердостью поверхности катания сварного стыка и основного металла рельсов в пределах 60 мм от центра шва составило 104, 104 и 109 % соответственно для стали трех указанных изготовителей. Это значит, что верхняя часть сварного шва рельсового стыка тверже основного металла, что позволяет снизить влияние стыков на динамику дви-

жения поездов и обеспечить нормальную работу бесстыкового пути. Твердость шва сварных рельсовых стыков в продольном направлении на уровне головки рельсов для указанных марок стали составляла 99–111 % твердости основного металла, что позволяет обеспечить надежность бесстыкового пути в эксплуатации. Кроме того, соотношение между средними значениями твердости сварного шва в самом мягком месте головки рельсов и основного металла составило соответственно 83, 85 и 85 %, что удовлетворяет требованиям стандартов;

- прочность на разрыв. Соотношение предела прочности на разрыв сваренного встык образца и образца из цельного металла составило для стали трех указанных изготовителей соответственно 97, 99 и 104 %, что превосходит требования стандартов. Соотношение предельных значений относительного удлинения сваренного встык образца и образца из цельного металла составило 105, 105 и 93 % соответственно, что полностью удовлетворяет требованиям стандартов;

- ударная прочность. Соотношение ударной прочности сваренных встык образцов и образцов из цельного металла для стали, выпускаемой металлургическим заводом в Аньшане, составляло 129 %, выпускаемой заводом в Паньчжихуа — 148 %, французской стали — 115 %, т. е. по этому параметру характеристики сварного шва существенно лучше. Это стало возможным благодаря применению технологии послесварочной термообработки с повторным нагревом сварных швов до температуры выше точки аустенизации и последующим обдувом сжатым воздухом до полного охлаждения. Таким образом, подтвердились преимущества данной технологии с точки зрения

обеспечения безопасной эксплуатации бесстыкового пути;

- испытания усталостные, на статический изгиб и ударные копровые. Рельсовая сталь всех трех изготовителей успешно прошла проверку на соответствие требованиям стандартов к механическим испытаниям указанных видов.

Рельсы для стрелочных переводов

Стрелочные переводы — ответственные элементы путевой структуры и одновременно ее слабое звено. Движущиеся поезда оказывают на стрелочные переводы динамическое воздействие в двух направлениях, поэтому механические характеристики конструктивных элементов переводов должны превосходить характеристики рельсов на прилегающих участках пути. Например, рельсы переводов должны иметь хорошую свариваемость, чтобы было возможно реализовать бесстыковые стрелочные переводы их прочностные характеристики (в том числе предел прочности) должны быть выше, чем у рельсов на перегонах, что послужит увеличению срока эксплуатации стрелочных переводов. Кроме того, твердость элементов стрелочных переводов также должна быть выше обычной, чтобы увеличить их надежность. Чтобы обеспечить выполнение этих требований, некоторые страны мира стремятся придерживаться следующих принципов при выборе марки стали для изготовления рельсов стрелочных переводов:

- хорошая свариваемость рельсов как самих стрелочных переводов, так и смежных участков. Поэтому используемые в стрелочных переводах рельсы должны быть как можно больше схожи по характе-

ристикам с рельсами сопрягаемых звеньев;

- характеристики рельсов стрелочных переводов по прочности и твердости должны быть лучше характеристик рельсов сопрягаемых звеньев. Для этого необходимы соответствующие металлургические (оптимальный выбор химического состава стали) и технологические (закалка по всей длине) мероприятия.

В настоящее время при изготовлении рельсов для большинства стрелочных переводов железных дорог Китая используется сталь марки UIC 900A (с пределом прочности порядка 900 МПа) или U71Mn, исходная прочность которой сравнительно невелика, из-за чего требуется дополнительная закалка. Однако осуществлять в полном объеме закалку, например, острых концов рельсов разного поперечного профиля, учитывая современный уровень технического развития страны, представляется весьма трудным или практически невозможным. Поэтому необходимо тщательное предварительное рассмотрение данного вопроса с последующим выбором марки стали для рельсов, предполагаемых к использованию на стрелочных переводах и сопрягаемых звеньях пути.

Суммируя изложенное, можно сказать, что при выборе материала для рельсов высокоскоростных линий железных дорог Китая из трех используемых в настоящее время марок рельсовой стали (т. е. UIC 900A, U71Mn и PD3) предпочтение может быть отдано стали марки PD3, которая в наибольшей степени отвечает разным аспектам технических требований с учетом также сложившейся ситуации использования рельсов на действующих линиях.

Zuwen Lu. *Chinese Railways*, 2005, № 2, p. 3–9.