

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРУЖИННЫХ КЛЕММ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

А.Г. Корчунов, Е.А. Слабожанкин

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск,
Россия

Российская Федерация - мощная железнодорожная держава. Протяженность железных дорог страны огромна, а их эксплуатация осуществляется в различных климатических поясах. Темпы роста отечественной экономики диктуют значительное увеличение объемов грузооборота и повышение производительности железных дорог. Основными путями интенсификации перевозок служат повышение скоростей движения поездов и их веса, что связано с резким ростом силового воздействия подвижного состава на путь. Однако состояние железнодорожного пути сегодня не вполне отвечает более сложным условиям эксплуатации. В связи с этим компанией ОАО "Российские железные дороги" принята двухуровневая программа технического перевооружения отечественных железных дорог. Первый этап направлен на повышение скорости движения и модернизацию существующих дорог, затем начнется строительство специализированных высокоскоростных магистралей. Одной из актуальных проблем при реализации намеченной программы является развитие отечественного производства современных комплектующих для строения пути и, в частности пружинных клемм для рельсовых скреплений нового типа ОП 105. Динамические нагрузки, ощутимые температурные перепады, увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание, воздействие нефтепродуктов и других агрессивных веществ, предъявляют исключительно высокие требования к надежности и долговечности этих изделий.

В нормативно технической документации в качестве исходной заготовки для выпуска пружинных клемм (ОСТ 32.156-2000) предусмотрено использование нестандартной кремнистой стали марки 40С2.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по разработке и совершенствованию технологических режимов термического и деформационного воздействия на сталь 40С2 с целью формирования требуемого уровня качества пружинных клемм.

Принципиальным отличием нового узла рельсовых скреплений является замена в нем промежуточной жесткой клеммы на пружинную прутковую клемму ОП 105. Передовым предприятием, освоившим производство данных изделий, стал "Магнитогорский метизно-калибровочный завод "ММК-МЕТИЗ". Пружинные клеммы (рис.1) являются изделиями сложной формы с жестко регламентированными геометрическими размерами и механическими свойствами. Формирование качества пружинных клемм для железнодорожного рельсового скрепления ОП105 включает три взаимосвязанных технологических блока: подготовительные операции исходного подката к деформированию, формообразующие геометрические размеры клемм операции и заключительные термоупрочняющие операции.

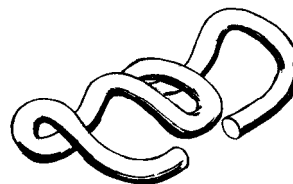


Рисунок 1 – Общий вид пружинной клеммы ОП 105

Мероприятия по разработке и совершенствованию указанных технологических блоков потребовали проведения комплексных исследований по выбору поставщика горячекатаного подката из кремнистой стали 40С2, изучению формирования ее свойств при различных видах термического воздействия: структурного и рекристаллизационного отжига, закалки и отпуска с использованием разных источников тепла. При этом необходимо было учитывать также характер предыдущей и последующей формоизменяющей или механической обработки.

С целью выбора поставщика исходного подката было проведено исследование качества горячекатаной стали 40С2 диаметром 14,0 мм, поставляемой с ОАО "Ижсталь" и ОАО "Мечел". Для оценки металлургического качества исходного металла из каждой партии поставленного проката были отобраны произвольным образом более 10 бунтов массой около 500 кг каждый. Результаты химического анализа стали, выполненного по двум основным легирующим компонентам -

углероду и кремнию, показали, что содержание углерода в стали производства ОАО "Ижсталь" составляло - 0,38-0,42 %, ОАО "Мечел" - 0,37-0,43 %, а содержание кремния для обоих заводов - 1,5-1,8 %.

Помимо изучения химического состава стали была проведена оценка однородности ее механических свойств по временному сопротивлению разрыву при растяжении и величине относительного удлинения. Данные по механическим свойствам металла, приведены на рис. 2-3. Горячекатаный металл ОАО "Ижсталь" по совокупности испытаний имел абсолютный разброс значений временного сопротивления разрыву 90 МПа, а металл производства ОАО "Мечел" - 135 МПа. Однако уровень прочностных характеристик проката производства ОАО "Ижсталь" в среднем был в 1,3 раза выше, а пластических в 1,2 раза ниже, чем у металла, поставленного с ОАО "Мечел", что объясняется спецификой охлаждения проката в потоке прокатных станов на этих предприятиях.

По совокупности результатов проведенных испытаний было установлено, что сталь производства ОАО "Мечел" с учетом дополнительных возможностей по повышению однородности его свойств на подготовительных операциях более предпочтительна, поскольку ее механические свойства в состоянии поставки ближе к свойствам, необходимым для гарантированного осуществления процесса холодной гибки промежуточной заготовки "ω".

Опыт производства клемм показал, что для получения стабильных геометрических размеров пружинной клеммы необходимо обеспечить на стадии предварительной термической и механической обработок стали стабильность ее механических свойств и способность к пластическому формоизменению. Особое внимание на подготовительных операциях должно быть уделено тщательности подготовки структуры металла, как основного фактора, определяющего стабильность процессов последующего деформирования.

В течение периода освоения технологии производства пружинных клемм традиционной схемой подготовки структуры исходного горячекатаного подката к формообразующим операциям являлся сфероидизирующий отжиг, выполнявшийся в условиях завода в колпаковых печах без защитной атмосферы. В силу специфики садочных печей режим термообработки, обеспечивающий требуемый уровень структурного состояния металла и механических свойств, характеризовался низкой производительностью и значитель-

90

ной продолжительностью. Отожженный металл приобретал на поверхности обезуглероженный слой, а вследствие перепада температур по высоте садки неравномерность структурного состояния и механических свойств.

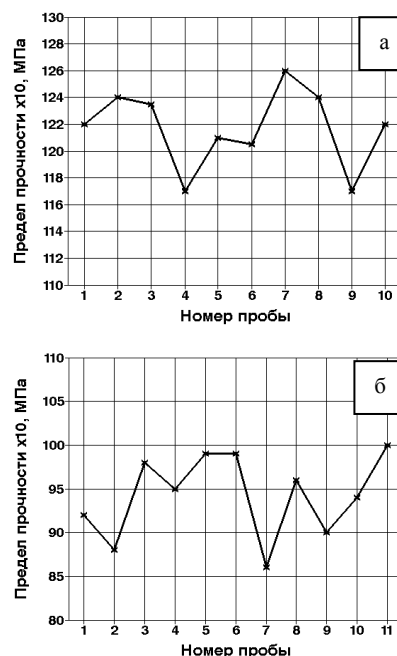


Рисунок 2 – Разбег временного сопротивления разрыву горячекатаной стали 40С2

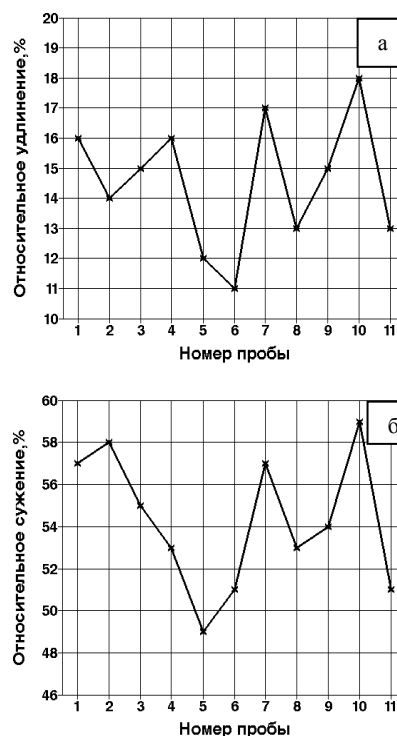


Рисунок 3 – Разбег относительного удлинения горячекатаной стали 40С2А, где а - ОАО "Ижсталь", б – ОАО "Мечел"

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРУЖИННЫХ КЛЕММ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

В 2006 году на ОАО "ММК-МЕТИЗ" была введена в эксплуатацию современная роликовая проходная печь, позволяющая осуществлять термообработку в защитной атмосфере. С целью определения возможности осуществления структурного отжига стали 40С2 на печи непрерывного действия и снижения затрат на производство были выполнены исследования в промышленных условиях.

Исходный горячекатаный подкат производства ОАО "Мечел" имел феррито-перлитную структуру с карбидами пластинча-

той формы в составе эвтектоида. Структурный отжиг осуществляли по типовому режиму с нагревом до температуры ниже точки A_1 и последующей выдержкой при этой температуре. Температуру отжига принимали равной 680°C , что соответствует типовым условиям подката на печи непрерывного действия в режиме рекристаллизации. Динамика нарастания количества сфероидизированной фазы при отжиге изучалась при варьировании продолжительности процесса от 5 до 12 часов.

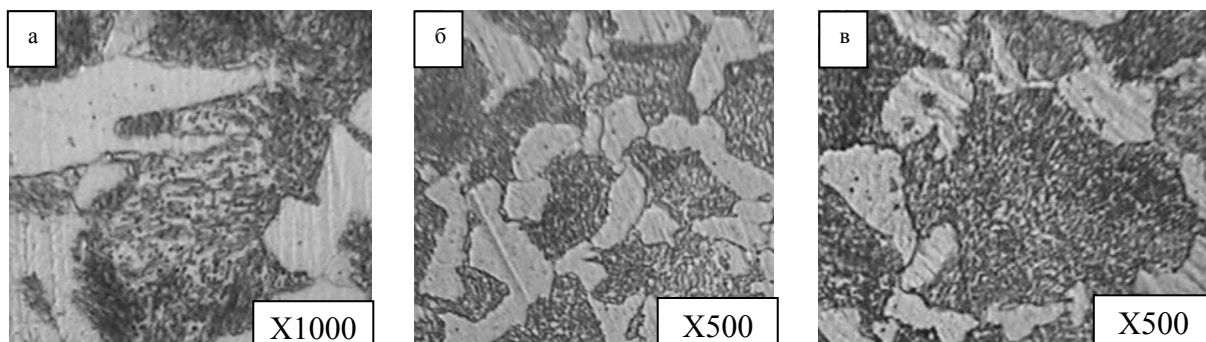


Рисунок 4 – Динамика развития доли зернистого перлита в стали 40С2

Из рис. 4 (а) видно, что деление цементитных пластин и образование карбидов зернистой формы отмечалось уже при выдержке металла в печи в течение 5 часов. Количество сфероидизированной фазы при этом составляло около 30%. Дальнейшее увеличение длительности отжига до 9 часов обеспечивало непрерывный прирост доли зернистого перлита в структуре стали (рис.4.б.). При выдержке 12 часов (рис.4.в.) количество сфероидизированной фазы составляло около 80%, что полностью отвечает требованиям дальнейшей переработки подката.

Выполненные исследования позволили спроектировать ресурсосберегающие режимы сфероидизирующего отжига исходного подката, обеспечивающие по сравнению с обработкой металла в колпаковых печах, сокращение длительности процесса примерно в 2-3 раза при значительном до 4-6 раз увеличении его производительности.

При существующем состоянии качества поверхности подката, поступающего с металлургического передела включение в технологический процесс производства операции обточки поверхности вращающимися резцами на установке "Кизерлинг" явилось важным фактором качественного совершенствования эксплуатационных свойств пружинных клемм.

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №1-2 2007

Внедрение термообработки в защитной атмосфере в некоторых случаях при удовлетворительном качестве поверхности подката позволяет использовать операцию калибрования взамен поверхностной механической обработки.

Дальнейшее совершенствование технологии обработки на этапе подготовительных операций было основано на изучении деформационной специфики калибрования или обточки стали и построения на этой основе ресурсосберегающих режимов рекристаллизационного отжига.

В развитии этого направления были выполнены эксперименты по калиброванию, а также по обточке образцов из стали 40С2 в термически обработанном состоянии с диаметра 14,0 на диаметр 13,0 мм. Для оценки характера распределения деформации по сечению калиброванной и обточенной стали от образцов были отобраны темплеты и проведены замеры микротвердости по сечению металла. Из анализа полученных графических зависимостей (рис.5) видно, что после деформации характер распределения микротвердости по сечению калиброванной стали носит ярко выраженную локализацию в поверхностных слоях. Центральные же слои в меньшей степени подвергаются деформации.

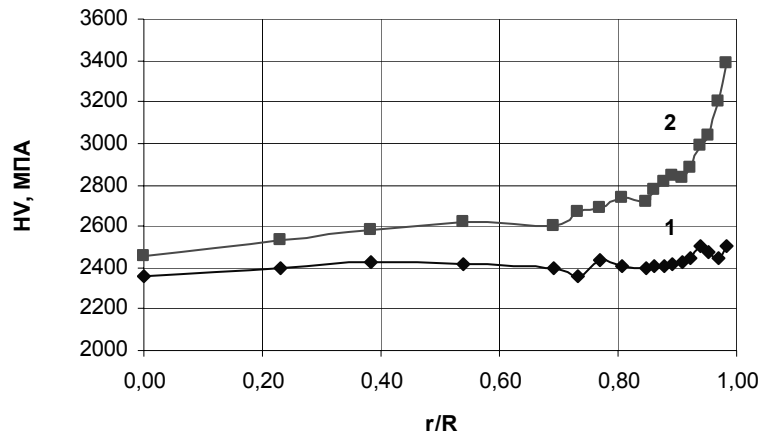


Рисунок 5 – Характер распределения микротвердости по сечению подката после отжига (1) и калиброванной стали (2)

Более существенная локализация деформации в приповерхностных слоях металла характерна для стали подвергнутой поверхностной механической обработке – обточке на линии "Кизерлинг". Поверхностная механическая обработка существенно повлияла на механические свойства стали: временное сопротивление разрыву увеличилось с 595 до 635 МПа при одновременном снижении (до 15%) показателей пластичности. Было установлено, что под воздействием режущего инструмента наиболее заметно изменяется структура приповерхностных слоев металла. Зерна приобретают вытянутую дугообразную форму со следами полос скольжения. Таким образом, наблюдаемый рост прочностных и падение пластических свойств стали, фиксируемые в макрообъеме металла при механических испытаниях, обусловлены изменением состояния поверхностных слоев, получивших наклеп в результате деформационного воздействия режущего инструмента.

Различная динамика накопления деформации в процессах калибрования или обточки поверхностных и центральных слоев стали, предопределяет различия в термодинамическом состоянии отдельных сечений холоднодеформированного или обточенного металла, а следовательно, и неодинаковую степень развития в них процессов рекристаллизации при выполнении операций термообработки. Незначительное развитие процессов деформации в центральных слоях металла способствует получению в них критических степеней деформации и приводит при последующей термообработке к неодинаковой степени

развития процессов рекристаллизации и формированию неоднородной структуры и свойств по сечению стали. В свою очередь, это предопределяет специфику формирования подходов к проектированию режимов рекристаллизационного отжига на основе учета характера предшествующей холодной пластической деформации или поверхностной механической обработки. Реализация указанного подхода в промышленных условиях заключалась в сокращении длительности процессов термообработки калиброванной или обточенной стали для пружинных клемм на печах непрерывного действия и снижение энергетических затрат на их выполнение.

Разработанные режимы обработки на этапе подготовительных операций обеспечили комплекс свойств стали, полностью отвечающий требованиям обеспечения стабильности и бесперебойности осуществления последующих формообразующих операций холодной гибки промежуточного профиля "ω" и горячей штамповки клемм: временное сопротивление разрыву – не более 700-720 МПа; относительное удлинение – не менее 18 %; относительное сужение – не менее 48 %.

Конечные свойства пружинные клеммы приобретают в результате окончательной термической обработки при закалке и последующем отпуске. При выполнении основного условия качественной закалки - получении структуры мартенсита во всем сечении изделия основную роль в достижении наилучших результатов такой обработки играет правильный выбор температуры нагрева.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРУЖИННЫХ КЛЕММ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Для оценки обоснованности выбора закалочной температуры при осуществлении окончательной термической обработки клемм были проведены опыты по выявлению уровня твердости стали 40С2 после печного нагрева в интервале закалочных температур: 860 °С – 1000 °С. Результаты исследований показали, что максимальная твердость стали 40С2 достигается при закалке с температуры нагрева 920 °С. Такая температура способна придать обрабатываемой стали наибольшую твердость 59-60 HRC.

Упругие характеристики пружинных клемм в процессе окончательной термической обработки определяются режимом отпуска. Для выяснения закономерностей изменения механических свойств закаленной стали 40С2 в ходе отпуска были выполнены исследования по изучению влияния его температуры и продолжительности на величину временного сопротивления разрыву, предела текучести, характеристик пластичности металла. Опыты выполнялись в диапазоне температур нагрева 340-460 °С при времени выдержки от 20 до 90 минут.

По результатам исследований с использованием методов математической статистики и пакета программ "Statistica 6.0" построены регрессионные уравнения, позволяющие прогнозировать изменение механических свойств клемм в зависимости от температуры (T , °С) и времени (τ , мин) печного отпуска:

- для временного сопротивления разрыву, МПа · 10⁻¹

$$\sigma_B = 344,43 - 0,45T - 0,25\tau$$

- для условного предела текучести, МПа · 10⁻¹

$$\sigma_{0,2} = 291,53 - 0,36T - 0,18\tau$$

- для относительного сужения, %

$$\psi = 0,15T + 0,11\tau - 16,32$$

Полученные результаты легли в основу разработки режима окончательного термического упрочнения пружинных клемм: температура нагрева под закалку - 920 °С; температура отпуска - 400 °С; продолжительность отпуска - 30 мин.

На основе проведенных в настоящей работе исследований разработаны научно-обоснованные режимы подготовки стали 40С2 к холодной пластической деформации и окончательной термической обработке готовой продукции. Намечены пути совершенствования формообразующих операций с целью повышения точности исполнения контура с возможностью освоения перспективных конструкций клемм.

Внедрение разработок в условиях ОАО "ММК-МЕТИЗ" (г. Магнитогорск) позволило обеспечить стабильный процесс изготовления пружинных клемм и уровень качества готовой продукции, соответствующий требованиям действующего отраслевого стандарта ОСТ 32.156-2000.