

С.А. Королев, А.П. Моисеев, И.А. Сурков (ООО Надёжность Плюс)
С.В. Прудников (ООО Сабарос)

Установление причин разрушения и восстановление сваркой донной части главных цилиндров мощных гидравлических прессов

Мощные гидравлические прессы используются на заготовительных производствах в различных отраслях промышленности и, в частности, при производстве железнодорожных колес. Практика эксплуатации показывает, что во многих случаях простой высокопроизводительных технологических линий связаны с разрушением главных цилиндров прессов, вызванных возникновением и развитием трещин усталости в галтели днища цилиндра. В качестве примера на рис. 1 представлена схема произошедшего в 1994 г. разрушения цилиндра силой 50 МН. Аналогичные трещины были обнаружены в цилиндрах силой 35 МН в 2003 и 2004 г.г.

Цилиндры мощных гидравлических прессов, разрушенные трещинами в галтелях днищ, имеют одинаковые конструкции, технологии изготовления и условия эксплуатации. Это позволяет считать причины разрушений общими для указанных цилиндров, что делает необходимым проведение соответствующих исследований для установления причин разрушения.

Напряженное состояние цилиндров исследовано расчетом методом конечных элементов (МКЭ) в осесимметричной постановке. На рис. 2 показана эпюра максимальных растягивающих напряжений на внутренней поверхности цилиндра силой 50 МН. Такой же характер и величину максимумов имеет эпюра напряжений цилиндра силой 35 МН.

Сопоставление схем расположения трещин в галтели днища (рис. 1) с напряженным состоянием внутренней поверхности цилиндра (рис. 2) показывает, что трещины в галтелях днищ начинаются в зонах расположения максимумов растягивающих напряжений, что соответствует механизму возникновения трещин усталости. В то же время, величины максимальных напряжений значительно меньше предела выносливости ковanej стали Ст. 35, из которой изготовлены разрушенные цилиндры. По данным [1] предел выносливости стали Ст. 35 при пульсирующем цикле равен 250 МПа, что примерно в 2 раза превышает уровень действующих напряжений в зоне возникновения трещин. Для выяснения причин столь значительного снижения прочности зоны днища рассмотрим пределы выносливости материала, полученные на образцах, вырезанных из реальных цилиндров прессов для производства ж/д колес.

Цилиндры мощных гидравлических прессов имеют сварнокованное исполнение. Заготовка днища после осадки и токарной обработки приваривается к откованной обечайке и затем производится их совместная механическая обработка. Для получения усталостных характеристик материала реальных цилиндров использованы образцы, вырезанные из разрушенных

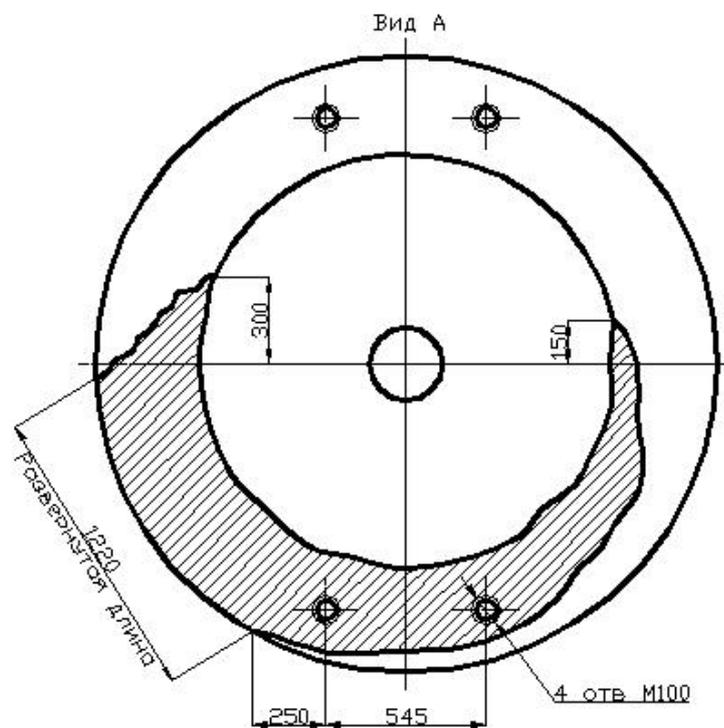
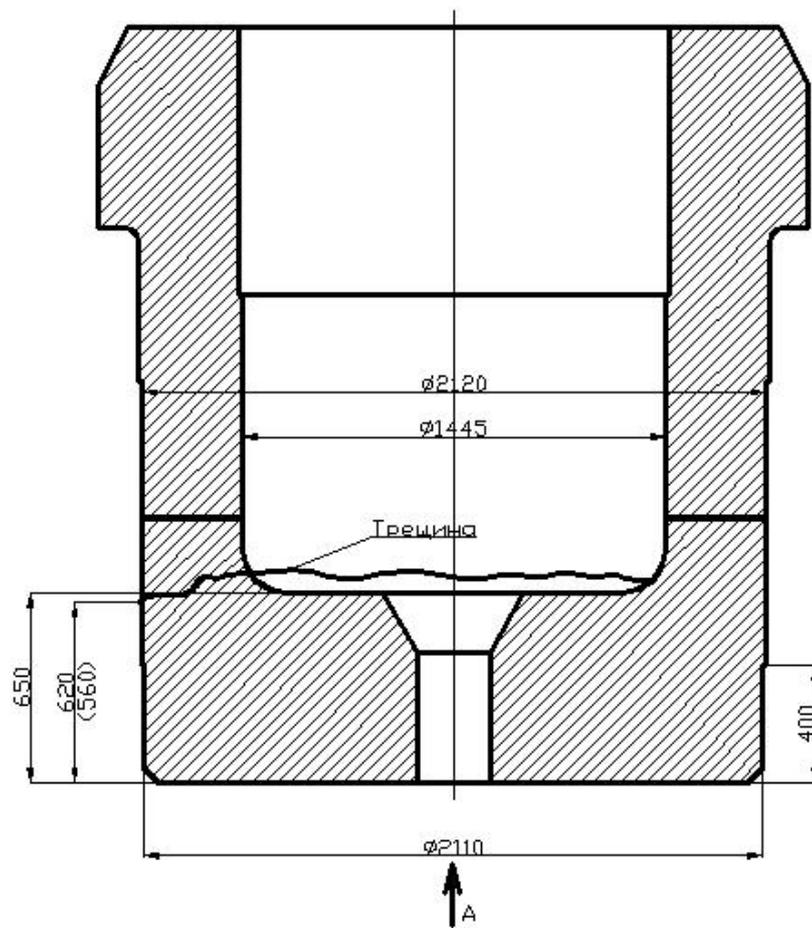


Рис.1 Схема расположения трещины в днище главного цилиндра прессы силой 50 МН.

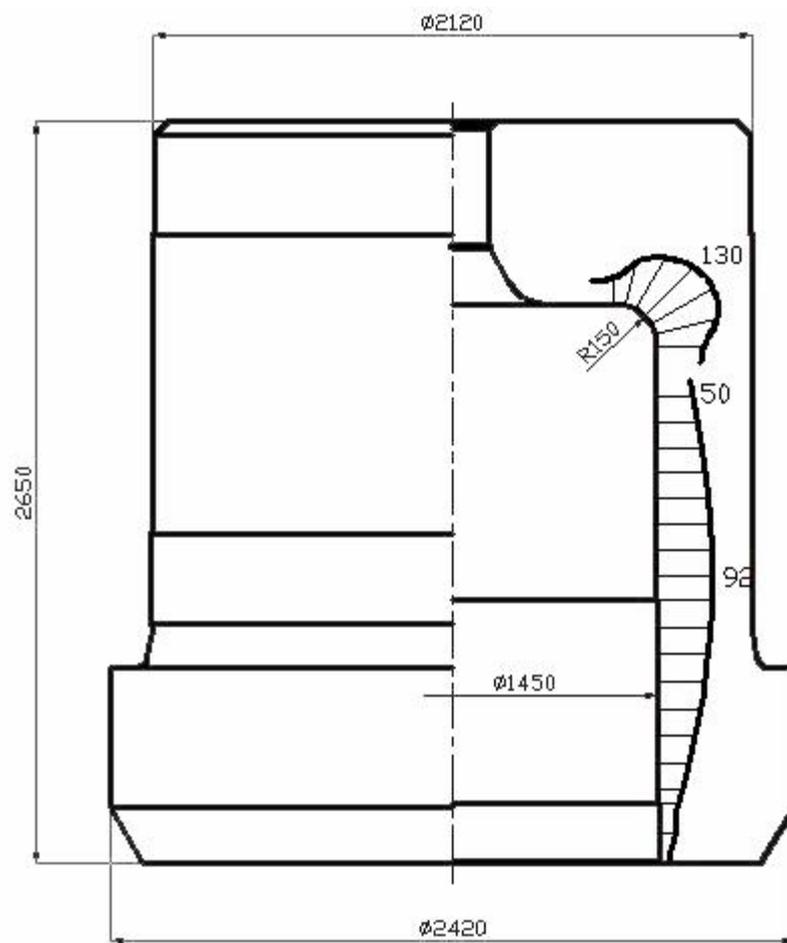


Рис. 2. Максимальные растягивающие напряжения (МПа), действующие на внутренней поверхности цилиндра прессы силой 50 МН.

цилиндров прессов производства ж/д колес /2/. На рис. 3, а и 3, б показана схема вырезки темплетов из днища и обечайки для изготовления образцов, а на рис. 3, в – результаты усталостных испытаний.

Из рис. 3, в можно видеть, что предел выносливости материала днища на базе $2 \cdot 10^6$ циклов составляет 165 МПа, а материала обечайки 275 МПа. Максимальные рабочие напряжения в обечайке действуют в окружном направлении, т.е. направление максимальных напряжений совпадает с направлением структурных линий материала при ковке обечайки на оправке, что дает максимальную прочность материала. Можно предположить поэтому, что значительное снижение предела выносливости материала днища вызвано неблагоприятным расположением направления действующих напряжений по отношению к структурным линиям материала при ковке днища.

Для проверки этого предположения направление действия максимальных напряжений относительно расположения структурных линий было найдено путем моделирования в качественной постановке технологического процессаковки днища с использованием программы SPLEN-S. На рис. 4 даны геометрия заготовки и структурная сетка после осадки. Там же показаны геометрия днища после токарной обработки, направление действия максимальных напряжений в галтели днища, расположение образцов для усталостных испытаний и направление прикладываемой к ним нагрузки. Из рис. 4 видно, что направление действия максимальной нагрузки при усталостных испытаниях образцов и направление действия максимального напряжения в галтели днища не совпадают с направлением распространения максимальных пластических деформаций. Неблагоприятное расположение структурных линий относительно направления действующих напряжений вызывает значительное уменьшение предела выносливости материала и является причиной возникновения трещин в галтели днища цилиндра.

Вопросам изменения технологии изготовления днища для увеличения прочности зоны галтельного перехода будет посвящена специальная работа. Здесь мы рассмотрим технологию восстановления разрушенного днища с применением сварки. Сварка в цеховых условиях дает возможность восстановить цилиндр в кратчайшие сроки, что предупреждает значительный экономический ущерб, связанный с простоем технологической линии.

Традиционные подходы к сварке крупногабаритных деталей из сталей типа Ст. 35 (литых и кованных) требуют предварительного подогрева детали до температуры 250°C и удержания этой температуры до окончания сварки. После окончания сварки необходимо провести термообработку всей детали при температуре $850-870^{\circ}\text{C}$ с замедленным охлаждением. Применение аустенитных сварочных материалов (нержавеющие электроды на основе железа) допускает проведение термообработки при температуре $450-500^{\circ}\text{C}$, но требования по предварительному подогреву сохраняются.

Цилиндр силой 35 МН с трещиной, разделанной для установления границ ее распространения, показан на рис 5. Заварка трещины вручную в

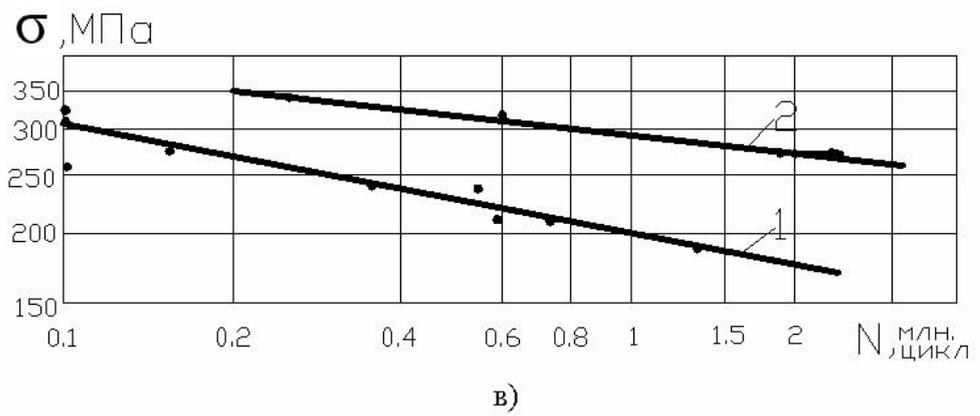
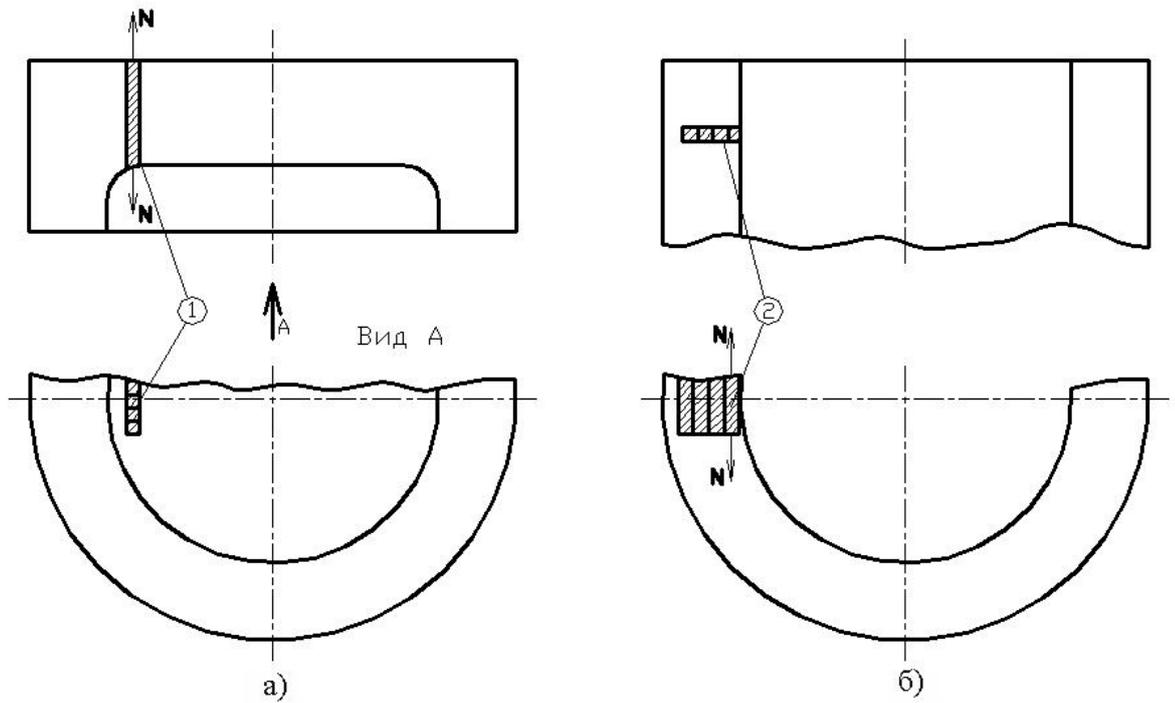


Рис. 3. Схема вырезки шаблонов для изготовления образцов и результаты усталостных испытаний
 а - днище; б - обечайка;
 в - результаты усталостных испытаний;
 1, 2 - шаблоны из днища и обечайки;
 N - направления действия нагрузки при усталостных испытаниях.

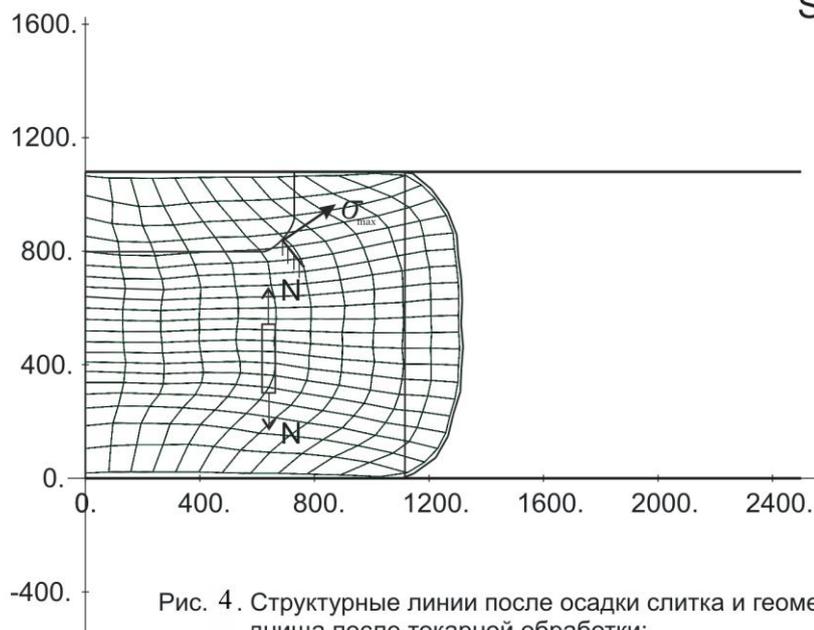


Рис. 4. Структурные линии после осадки слитка и геометрия дна после токарной обработки:

σ_{max} - направление действия максимальных напряжений в галтели дна;

N - направление действия нагрузки при усталостных испытаниях образцов.

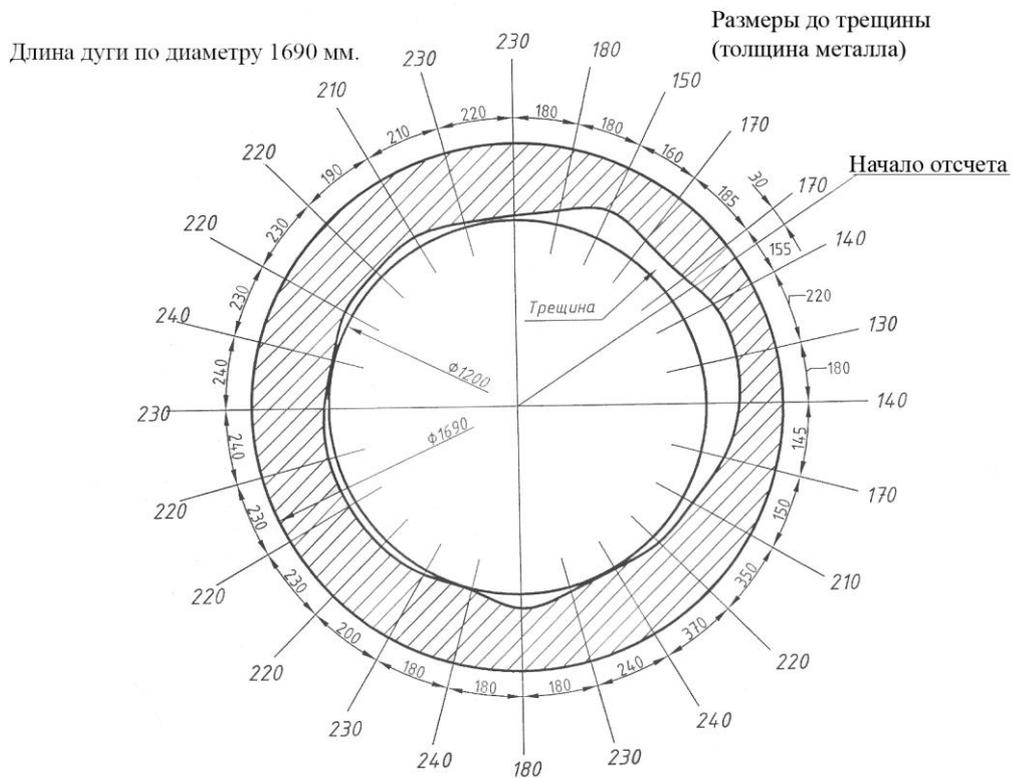


Рис. 5. Размеры трещины в галтели дна цилиндра силой 35 МН по данным ультразвукового контроля.

Схема расположения трещины аналогична схеме на рис. 1.

стесненном пространстве, ограниченном предварительно подогретыми до 250°C стенками цилиндра невыполнима. Снижение температуры предварительного подогрева до пределов, допускающих ручную сварку, приводит после охлаждения детали к возникновению трещин по границе наплавленного и основного металла. В связи с этим по рекомендации ООО «Сабарос» для заварки трещины применены аустенитные сварочные материалы на основе никеля Сабарос МЕ 122, которые позволяют выполнять сварочные работы на крупногабаритных деталях из стали Ст35 без предварительного подогрева и последующей термообработки. В таблице 1 приведены механические характеристики основного металла и сварного шва, выполненного различными электродами.

Таблица 1.

Механические характеристики основного металла и сварного шва, выполненного различными электродами

Наименование	Ст 35	Сабарос МЕ 122	ОЗЛ-6	УОНИ 13/45
Предел текучести,	300	380	340	370
Предел прочности, Н/мм ²	550	650	590	470
Относительное удлинение, %	22	37	25	22

Из таблицы видно, что сварное соединение, выполненное электродом Сабарос МЕ 122, имеет более высокие механические характеристики по сравнению с традиционными сварочными материалами и основным металлом. В сочетании с высокой пластичностью это обеспечивает работоспособность сварного соединения при циклических нагрузках.

Коэффициент термического расширения сварного шва, выполненного электродом Сабарос МЕ 122 (аустенит на базе никеля), в диапазоне температур 0-650°C составляет $14,8 \cdot 10^{-6}$. Тот же параметр для сварного шва на базе ОЗЛ-6 составляет $19,1 \cdot 10^{-6}$. Это означает, что в сварном шве, выполненном электродами Сабарос МЕ 122, создаются напряжения на 30 % меньшие, чем напряжения в сварном шве, выполненном электродами ОЗЛ-6.

Температура плавления металла, наносимого с помощью УОНИ 13/45, является самой высокой среди указанных электродов. Самая низкая температура плавления у электродов на базе никеля. Деформации основной детали пропорциональны температуре, поэтому сварка никелевыми электродами дает минимальные сварочные напряжения.

Дополнительным способом компенсации напряжений при сварке является наклеп наплавленного слоя с целью создания “противонапряжений”. Материал сварного шва, выполненный электродами УОНИ 13/45 или ОЗЛ-6, не обладает способностью к наклепу. Степень наклепа оценивается увеличением твердости материала после наклепа. Для материала сварного шва, выполненного электродами Сабарос МЕ 122, получены следующие результаты.

Твердость после сварки (HV)	160
Твердость после наклепа (HV)	405
Увеличение твердости после наклепа, %	155

Таким образом, наклеп сварного шва, выполненного никелевыми электродами, существенно уменьшает возможность образования трещин от сварки и механических нагрузок.

Крупногабаритные детали мощных гидравлических прессов, выполненные из литой или ковanej стали 35, имеют металлургические дефекты, такие как включения песка, зоны повышенного содержания углерода, серы и фосфора. В основном металле при сварке электродами типа ОЗЛ – 6 на основе железа, формируются точечные твердые и хрупкие структуры, повышается содержание растворённого водорода, и создаются условия для образования горячих и холодных трещин. Сварное соединение, выполненное аустенитными электродами Сабарос МЕ 122 на основе никеля, имеющими основную обмазку, менее чувствительно к металлургическим дефектам и содержит меньшее количество растворённого водорода, что существенно уменьшает возможность образования холодных трещин.

На первом этапе разделки трещины допускается вырезка центральной части разделки с помощью газового оборудования. На втором этапе зачистка стенок разделки должна проводиться разделочными электродами Сабарос МЕ 100. Эти электроды, благодаря экзотермической обмазке, обеспечивают разделку свариваемой детали без ее перегрева, а окисляющие элементы предотвращают налипание брызг металла на деталь. Как при хорошем доступе, так и в узких местах данный метод обеспечивает более быструю разделку по сравнению со шлифовальной машиной или зубилом и может быть использован с любым источником сварочного тока без кислорода или сжатого воздуха. После него остается «металлургически» чистая поверхность.

На первом этапе сварки производится 100% плакировка стенок разделки. Это наиболее трудоёмкая и ответственная часть ремонта. Плакировка производится в один слой с помощью электрода типа Сабарос МЕ 122. Каждый участок сварного шва подвергается интенсивной проковке.

После полной плакировки разделки (или секции разделки) начинается её заполнение. Данная операция производится с помощью электрода типа Сабарос МЕ 222. Данный электрод позволяет получить наплавленный ме-

талл, аналогичный Сабарос ME 122 по химическому составу. В отличие от Сабарос ME 122 имеет стержень из легированной стали, а все легирующие элементы находятся в обмазке в виде мелкодисперсного порошка. Это позволяет существенно (на 35-50%) увеличить производительность наплавки. Это особенно важно при сварке толстостенных конструкций, где объём наплавленного металла может достигать 500 кг. При заполнении разделки необходимо также интенсивно проковывать сварные швы.

Представленная выше технология была применена для ремонта цилиндра силой 35 МН с трещиной усталости в галтели днища (рис. 5). Сварка проводилась непрерывно в течение 7 суток. После полной заварки поверхность наплавленного металла и околосварной зоны проверена методом цветной дефектоскопии, трещин не обнаружено. Цилиндр запущен в эксплуатацию.

Восстановление цилиндра силой 35 МН и его установка на пресс были осуществлены во время планового капитального ремонта в апреле 2004 г., что не потребовало сокращения времени, отведенного на получение заготовок ж/д колес. Цилиндр отработал запланированный год до капитального ремонта в апреле 2005 г., что позволило обеспечить рекордную в мировой практике производительность колесопрокатной линии, составившей 750 000 ж/д колес в год.

Литература

1. Гохберг М.М., Пылайкин П.А., Юшкевич В.Н. Усталостная прочность сталей для прессов. - В кн. Производство крупных машин. Выпуск XX1. Гидравлические прессы, М., «Машиностроение», 1971, с. 10-34.

2. Мельников В.И., Монахов-Ильин Г.П., Пылайкин П.А., Сурков А.И. Характеристики сопротивления усталости и хрупкому разрушению сталей для изготовления базовых деталей мощных прессов. - Труды ВНИИМЕТМАШ, 1988, с.76-84.