



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОЙ ЩЕКИ ДРОБИЛКИ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, В. М. КИРЬЯКОВ, Ю. В. ДЕМЧЕНКО, кандидаты техн. наук, **А. В. КЛАПАТЮК**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены основные подходы, реализованные в процессе восстановления литых металлоконструкций сложной формы из стали типа 35Л, в которых в процессе длительной эксплуатации образовались макро- и микрповреждения. Приведено описание последовательности выполнения технологических операций при ремонте подвижной щеки.

Ключевые слова: ремонтная сварка, среднеуглеродистая сталь, кристаллизационные трещины, холодные трещины, остаточные сварочные напряжения, погонная энергия сварки, металл шва, химическая неоднородность

На Шаргородском щебневом заводе для первичного дробления гранита плотностью, превышающей 3000 кг/м^3 , с 1991 г. используется щековая дробилка с простым качением подвижной щеки. Она изготовлена в Болгарии в 1990 г. и является уникальной металлоконструкцией, предназначенной для первичного дробления песчаных пород плотностью до 2400 кг/м^3 . Она состоит из следующих основных элементов: станины, подвижной и неподвижной щек, шатуна, распорных плит с замыкающими пружинами, неподвижного упора и др. (рис. 1). В соответствии с технической ха-

рактеристикой дробилка рассчитана на 20 лет безотказной работы. В производственном цикле изготовления щебня она является наиболее важным элементом и ее выход из строя неизбежно приводит к остановке завода.

В 2003 г. (через 12 лет после начала работы) произошло разрушение одной из распорных плит и подвижной щеки дробилки. Более раннее, чем предусмотрено нормативной документацией, исчерпание ресурса дробилки, по-видимому, обусловлено особенностями ее эксплуатации. Поскольку плотность гранита существенно больше плотности материалов, для дробления которых предназначено это оборудование, то на его основные несущие элементы (распорную плиту и подвижную щеку)

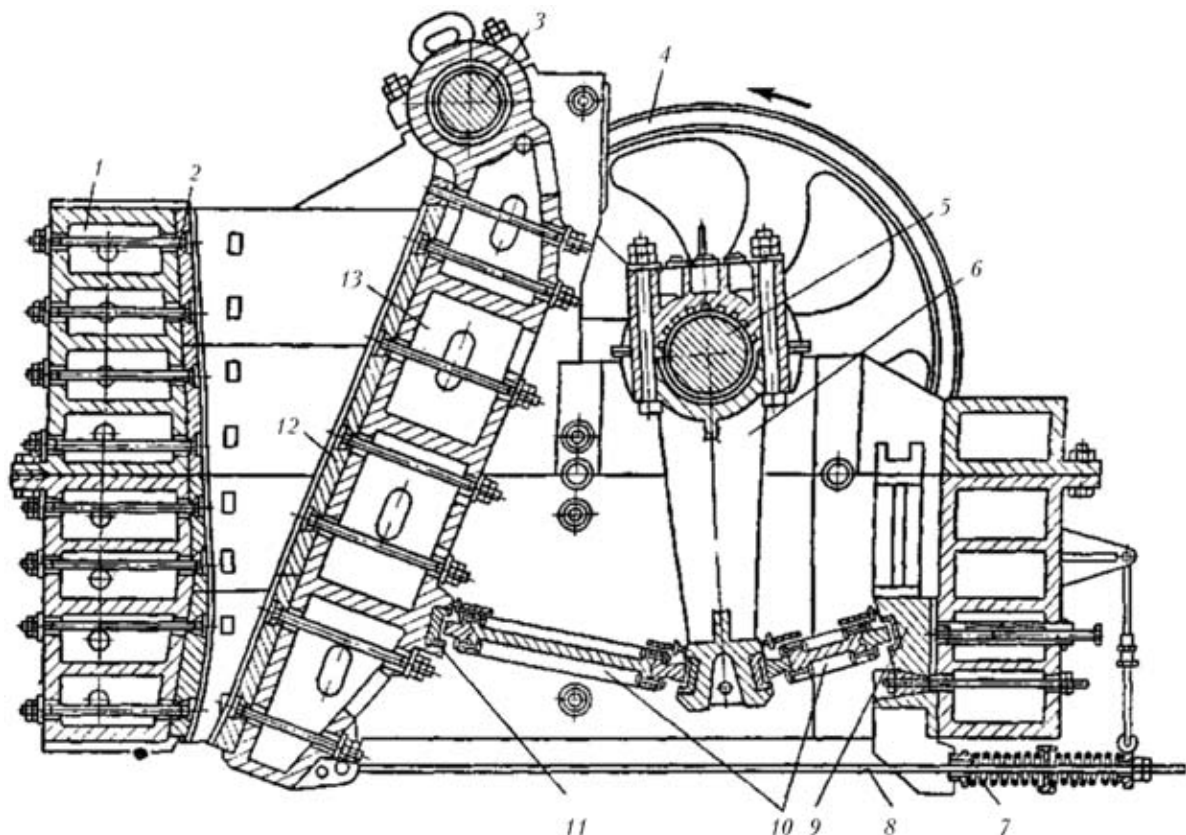


Рис. 1. Схема щековой дробилки: 1 — станина; 2 — бронеплита на неподвижной щеке; 3 — ось; 4 — маховик; 5 — эксцентриковый вал; 6 — шатун; 7 — пружина; 8 — тяга; 9 — регулировочное устройство; 10 — распорные плиты; 11 — вкладыши; 12 — бронеплиты; 13 — подвижная щека

увеличились нагрузки. В результате этого произошло их разрушение.

Распорная плита — это сменная пластина прямоугольного сечения. Ее замена не вызывает особых проблем. Подвижная щека является литой сотовой конструкцией сложной конфигурации и массой более 7 т. Изготовление новой щеки требует значительных материальных затрат и самое главное остановки производства на неопределенное время.

В связи с этим возникла необходимость в разработке альтернативных способов восстановления работоспособности дробилки, более дешевых и менее затратных по времени. Было принято решение произвести восстановление целостности подвижной щеки с помощью сварки, которая может выполняться на месте работы конструкции в короткий срок и при относительно небольших материальных затратах.

До разработки рабочей технологии ремонта специалистами НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» выполнен осмотр разрушенных элементов подвижной щеки, определен химический состав и проведены металлографические исследования литого металла.

Внешний осмотр подвижной щеки показал, что разрушение произошло на участке ее примыкания к распорной предохранительной плите (рис. 2). Первоначально под воздействием ударных нагрузок в верхнем поясе щеки толщиной 50 мм образовалась усталостная трещина. Впоследствии она увеличилась и поразила верхний пояс практически по всей его длине. Затем усталостное разрушение инициировало хрупкое лавинообразное разрушение вертикальных ребер и нижнего пояса щеки (рис. 3).

Состояние литого металла после длительной эксплуатации оценивали по результатам исследований проб металла, которые были взяты из поврежденных участков подвижной щеки. Одну часть проб использовали для определения химического состава, а другую — для приготовления шлифов и металлографических исследований.

Химический состав металла определяли на установке «Спектровак-1000». Установлено, что металл, из которого изготовлена подвижная щека дробилки, соответствует отечественной стали 35Л и содержит 0,36...0,41 % С; 0,36...0,40 % Si; 0,50...0,58 % Mn; 0,024 % S; 0,034 % P.

Структуру и неметаллические включения исследовали на микроскопе «Neophot-32», а микротвердость металла определяли на твердомере фирмы «Лесо» при нагрузке 50 г. Поверхность раздела изучали на растровом электронном микроскопе JSM-840, снабженном микроанализатором «Линк».

Анализ шлифов в полированном состоянии позволил выявить характерные для литого металла неметаллические включения сульфидов марганца, двойные железомарганцевые сульфиды, сульфостекла сложного состава, диоксиды кремния и оксиды железа. Загрязненность металла сульфидами оценивается 2–4 баллами, а оксидами — 3–4 по ГОСТ 1778. В металле также обнаружены дефекты в виде многочисленных пустот в районе расположения мелкодисперсных сульфидов и оксидов.

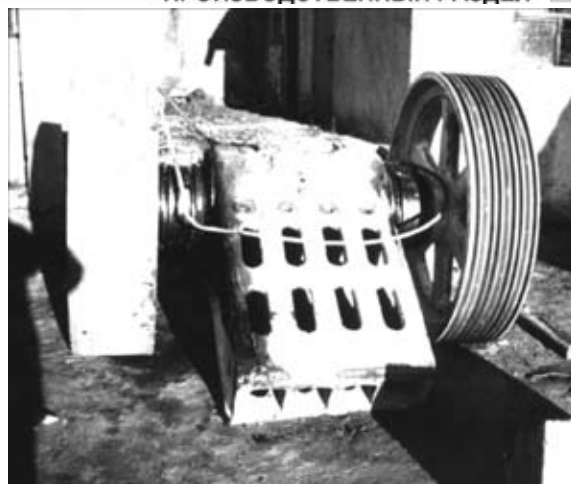


Рис. 2. Общий вид разрушенного узла щековой дробилки

Дальнейшее изучение микроструктуры литого металла осуществляли после химического травления микрошлифов в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Исследования показали, что микроструктура металла неоднородна, состоит из феррита и перлита с микротвердостью $HB_{0,05}$ соответственно 1105...1320 и 1810...1980 МПа. Размер зерен соответствует 1–2 баллам по ГОСТ 5639.

Анализ поверхности металла подтвердил, что разрушение происходило по двум механизмам. Первоначально в подвижной щеке образовалась и развивалась усталостная трещина, о чем свидетельствует наличие в этом участке явно выраженного ручьистого узора. Затем трещина начала развиваться по механизму хрупкого разрушения с характерным для него прямым (нормальным к поверхности) изломом с относительно малым уровнем пластической деформации и низкой поглощенной энергией. В этом случае трещина распространяется, как правило, с большой скоростью.

Таким образом, проведенные исследования выявили ряд следующих особенностей, которые необходимо учитывать при разработке технологических процессов ремонтной сварки подвижной щеки дробилки:

- повышенное содержание углерода в металле;
- химическую и структурную неоднородность литого металла;



Рис. 3. Внешний вид поверхности раздела (разрушения) подвижной щеки дробилки: 1 — участок с усталостным разрушением; 2 — участок с хрупким разрушением



наличие участков с дефектами литья;

наличие в местах примыкания ребер жесткости к верхнему и нижнему поясам щеки участков с микро- и макротрещинами;

затрудненный доступ к внутренним ребрам жесткости щеки.

Повышенное содержание углерода в стали уже само по себе предопределяет трудности при сварке: низкую стойкость металла шва против возникновения кристаллизационных трещин, возможность образования закалочных структур в металле ЗТВ и, как следствие, — холодных трещин. В этом случае сварку среднеуглеродистых сталей следует выполнять с предварительным подогревом до температуры 200...350 °С [1]. Однако из-за большой толщины металла и общей массы конструкции, а также условий выполнения работ на заводе это реализовать не представлялось возможным.

Исследования показали, что исключить образование кристаллизационных и холодных трещин в ремонтных сварных соединениях можно и при более низких температурах подогрева. Для этого необходимо ограничить содержание углерода в металле шва и снизить уровень остаточных растягивающих напряжений в сварных соединениях.

Проанализировав возможные пути насыщения металла шва углеродом, было решено, что для удаления трещин и разделки кромок следует использовать специализированные электроды для разделительной резки, а в качестве сварочных материалов — электроды, способствующие получению наплавленного металла с пластичностью $\delta_5 \geq 30\%$ и содержанием углерода не более 0,07%. При этом режимы сварки должны обеспечивать минимальное проплавление основного металла и максимальное значение коэффициента формы шва.

Как показывает анализ отечественных и зарубежных публикаций [2–5], посвященных вопросам проведения ремонтно-восстановительных работ металлоконструкций различного назначения, высокий уровень остаточных напряжений в сварных соединениях является одной из основных причин их преждевременного разрушения, которое может произойти как на стадии выполнения ремонтных работ, так и непосредственно в процессе их последующей эксплуатации. Для снятия сварочных напряжений, как правило, используют высокотемпературный отпуск изделия. Однако, учитывая конструктивные особенности восстанавливаемого изделия и технические возможности предприятия, на котором выполнялся ремонт, следовало найти альтернативные термообработке пути снижения остаточных сварочных напряжений. Это потребовало проведения специальных исследований, основанных на моделировании процессов ремонтной сварки толстостенных конструкций.

Характерная черта ремонтных соединений — их большая жесткость. Поэтому исследовали протекание термомодеформационных процессов в жесткозакрепленных соединениях в зависимости от условий сварки, а также изучали влияние различных видов послесварочной обработки на возможность регулирования напряженного состояния в сварных соединениях. Это позволило установить следующее.

При традиционной сварке в жесткозакрепленных соединениях формируются продольные и поперечные напряжения, уровень которых достигает 0,8...0,9 σ_T основного металла. Снижения напряжений на 30...40% можно достичь за счет проковки металла шва специализированным инструментом.

Весьма эффективным оказалось регулирование сварочных напряжений посредством выбора определенной последовательности наложения швов при заполнении разделки, что также способствует снижению напряженного состояния соединения. Сочетание этих двух подходов дает возможность снизить остаточные напряжения растяжения в восстанавливаемых элементах до уровня, который не превышает 0,3...0,4 σ_T .

Восстановление целостности внутренних технологических ребер жесткости, к которым затруднен доступ, потребовало использования особых технических решений. В данном случае сварку осуществляли специализированными высокопроизводительными электродами с высокоосновным покрытием, которые обеспечивают хорошие показатели сварочно-технологических характеристик и необходимый комплекс свойств наплавленного металла.

Сварку выполняли ванным способом. Шов требуемой конфигурации формировался за счет использования специальной оснастки, разработанной для ванный сварки, а также электродов, обеспечивающих высокую жидкотекучесть шлака.

По результатам исследований разработаны общие технические решения по восстановлению подвижной щеки дробилки, а также общие подходы к технологии ремонтной сварки. При этом учтены сложный характер разрушения, повышенное содержание углерода в свариваемом металле, а также химическая и структурная неоднородность литья, наличие участков с микро- и макротрещинами, неблагоприятно формирующиеся поля напряжений, вызванные процессом сварки, и условия нагружения данного узла.

Технологический процесс ремонта включал следующие операции:

определение методами неразрушающего контроля протяженности трещин в местах сопряжения вертикальных ребер жесткости с нижним и верхним поясами подвижной щеки;

удаление трещин, образовавшихся в местах сопряжения вертикальных ребер жесткости с нижним и верхним поясами подвижной щеки, разделка кромок и заварка сформированной разделки;

формирование разделки кромок на стыкуемых частях подвижной щеки;

сборку разрушенных элементов подвижной щеки; сварку в соответствии с рекомендациями, разработанными в ИЭС им. Е. О. Патона, в процессе которой использовали 230 кг электродов;

работы по снижению уровня остаточных напряжений в сварных соединениях;

снятие заподлицо с основным металлом усиления швов;

неразрушающий контроль сварного соединения;

восстановление наплавкой упоров для броневой плиты и поверхности сопряжения подвижной щеки с броневой плитой;

зачистку наплавленной поверхности подвижной щеки для обеспечения плотного контакта между подвижной щекой и броневой плитой.

Восстановительные работы, проведенные в апреле 2003 г. на Шаргородском щебневом заводе, длились шесть дней при трехсменном режиме. Для выполнения привлечены высококвалифицированные сварщики.

Восстановленная подвижная щека в настоящее время работает в режиме нагрузок, которые превышают проектные.

Опыт, накопленный при ремонте подвижной щеки дробилки, показал, что комплексный подход к решению технической задачи, включающий оценку состояния металлоконструкции, моделирование технологических процессов, авторский надзор за

ходом работ, к выполнению которых привлекаются специализированные организации, позволяет в короткий срок и с высоким качеством обеспечить восстановление и продление ресурса уникальных конструкций сложной конфигурации.

1. *Справочник сварщика* / Под ред. В. В. Степанова. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1975. — 250 с.
2. *Irving R. R.* Can industry afford the high cost of weld repair // *Iron Age*. — 1980. — № 3. — P. 49-55.
3. *Ларионов В. П.* Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. — Новосибирск: Наука, 1986. — 168 с.
4. *Dixter R. J., Kelly B. A.* Research on repair and improvement methods // *IW 50-th Annual assembly conf. on performance of dynamically loaded welded structures* (San-Francisco, July 14-15, 1997). — San-Francisco, 1997. — P. 3-5.
5. *Повышение прочности и долговечности горных машин* / А. В. Докукин, П. В. Семенча, Е. Е. Гольдбухт, Ю. А. Зислин. — М.: Машиностроение, 1982. — 224 с.

The main approaches are considered, which were implemented during reconditioning complex-shaped cast metal structures of steel of 35L type, in which macro- and microdamage were developed during long-term service. Description of the sequence of process operations during repair of a movable jaw is given.

Поступила в редакцию 23.02.2004

НОВОСТИ НКМЗ

НКМЗ расширяет номенклатуру кранового оборудования

Новоκραматорский машиностроительный завод (г. Краматорск, Донецкой обл.) на Новолипецком металлургическом комбинате (Россия) сдает в промышленную эксплуатацию мостовой кран с поворотным крюком грузоподъемностью 50/12,5 т. Еще один кран — колодезный грузоподъемностью 10/10 т с новокраматорской маркой введен в строй действующих на «Криворожстали» (Украина). Готовится к испытаниям и отгрузке Соколово-Сарбайскому горно-обогатительному комбинату (Казахстан) мостовой перегружатель козлового типа грузоподъемностью 16 т.

В настоящее время завод приступает к проектированию клещевых кранов грузоподъемностью 64/46 т с поворотными траверсами для Мариупольского меткомбината им. Ильича. Совместно с немецкой специализированной фирмой «Кранбау Эберсвальде» впервые начинается изготовление двух порталных кранов.

Конструкция этих машин отвечает самым современным требованиям, обеспечивает повышение производительности, расширение зон обслуживания, надежность и удобства в эксплуатации. И это далеко не полный перечень подъемно-транспортного оборудования с новокраматорской маркой, востребованного рынком. Сегодня НКМЗ готов к выпуску кранов как стандартного общепромышленного применения, так и специального назначения. Для горнорудной и обогатительной отраслей — это козловые и полукозловые краны, угольные и рудные рейферные перегружатели. Для металлургической, машиностроительной и других отраслей — клещевые, слябовые, посадочные, магнитные с поворотными органами и тележками, пратцен-краны, литейные, завалочные, мульдовые и т. д.

Пресс-служба НКМЗ