

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ МОЩНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Коркин Н.П.^{*}, Сурков И.А., Сафронов Д.В.^{**}

^{*}) ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»

^{**}) ООО «Надежность Плюс», Москва

Самые мощные в мире гидравлические прессы силой 750 МН, уникальные прессы силой 300, 150, и 100 МН, работающие в промышленности легких сплавов, входят в состав оборудования, составляющего основу промышленного и оборонного потенциала России. Но сроки эксплуатации большинства действующих мощных гидравлических прессов составляют 30 - 40 и более лет. Поэтому на современном этапе у руководителей предприятий возникает необходимость выбора экономически обоснованного пути развития: или это дальнейшая эксплуатация действующего оборудования, или замена существующих машин новыми.

Физический износ мощного гидравлического пресса определяется состоянием его базовых деталей (колонн, поперечин, главных цилиндров, элементов рамных станин), масса которых достигает тысяч тонн и составляет до 80 % массы собственно пресса. Поэтому возможность обеспечения дальнейшей безотказной работы базовых деталей действующих мощных гидравлических прессов определяет не только тактику предприятия на ближайшие годы, но и стратегию его развития на следующие 20 - 30 лет. Для оценки реальности осуществления такой возможности рассмотрим причины отказов, методы контроля состояния и технические решения по предупреждению разрушений основных групп базовых деталей.

1. Колонны

В большинстве случаев разрушения колонн связаны с возникновением и развитием усталостных трещин в первых, наиболее нагруженных витках внешней резьбы колонн. Для установления количественных зависимостей, связывающих разрушение колонны с напряженным состоянием резьбы, в работе [1] дан расчет резьбы для двух режимов работы.

Первый режим характеризует сохранение проектных условий работы. При этом усилие затяжки колонны в поперечине обеспечивает нераскрытие стыков между внутренней гайкой колонны и поперечиной при рабочем

нагрузении пресса. При втором режиме проектные условия работы нарушены. Из-за недостаточного усилия предварительной затяжки или полного его отсутствия происходит раскрытие стыков между гайками и поперечинами при рабочем нагружении пресса.

Расчеты колонн на усталость показали, что при проектном режиме для всех типов резьб запас по усталости $n > 1$, что обеспечивает неограниченную долговечность колонн. При нарушении проектного режима для всех типов резьб запас по усталости $n < 1$, что приводит к неизбежному разрушению колонн в процессе эксплуатации. Анализ работы колонн в цеховых условиях позволил установить, что уменьшение или полное отсутствие усилия затяжки связаны с недостаточной величиной первоначальной затяжки при монтаже пресса. Разработанные в настоящее время способы контроля позволяют обнаружить ослабление затяжки колонн в процессе эксплуатации и провести повторную затяжку с заданным усилием. Это оказывается достаточным для обеспечения прочности колонн при штамповках с небольшими (в пределах допустимых величин) эксцентриситетами.

В действующих мощных штамповочных прессах допустимая величина эксцентриситета принята меньше предельного значения для уменьшения массы и габаритов базовых деталей. Увеличение допустимого эксцентриситета и расширение технологических возможностей пресса достигается применением системы противодействия перекосу подвижной поперечины, которая создает изгибающий момент разгрузки. Но установка такой системы не исключает возможность поломок колонн, которые могут произойти из-за неполадок в такой системе. Кроме того, значительные напряжения за счет изгиба колонн могут возникнуть в связи с образованием клиновидности нижней поперечины и элементов штампового набора при формоизменении их контактных поверхностей. Поэтому мощный штамповочный пресс должен быть защищен от поломок колонн постоянно действующей системой диагностики, чувствительными элементами

которой являются датчики, установленные в непосредственной близости от верхних внутренних гаек колонн. Такая система была спроектирована, изготовлена и установлена на 8-ми колонном прессе усилием 300 МН конструкции УЗТМ, работающем на ВСМПО. Дадим краткое описание системы.

На каждой колонне прессы закреплены четыре чувствительных элемента в виде тензодатчиков, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров, параллельных продольной и поперечной осям прессы. Датчики установлены под верхней поперечиной в зоне возникновения максимальных напряжений. Аппаратная часть содержит промышленную рабочую станцию, содержащую системный блок компьютера, жидкокристаллический монитор и функциональную клавиатуру, крейтовую систему, блоки кроссировочный и бесперебойного питания. Система сигнализации выполнена с предаварийным и аварийным уровнями напряжений. Аварийный уровень

устанавливается по условию предотвращения опасных для прочности колонны напряжений.

После окончания цикла штамповки на экране монитора отображаются значения параметров, определяющих напряженное состояние колонн прессы.

В качестве примера на рис. 1 для одной из штамповок схематически показана выведенная на экран графическая информация. Стрелки в определенном масштабе дают величину максимального напряжения по колоннам и направления их действия. Одновременно на экран монитора для каждой колонны в отдельных окошках выводятся максимальное и минимальное напряжение по колоннам и напряжения изгиба.

Если при прессовании первое пороговое значение будет превышено хотя бы одним из 32 измеряемых или одним из 8 расчетных напряжений, то на пульте прессы будет выдан сигнал о предаварийной ситуации.

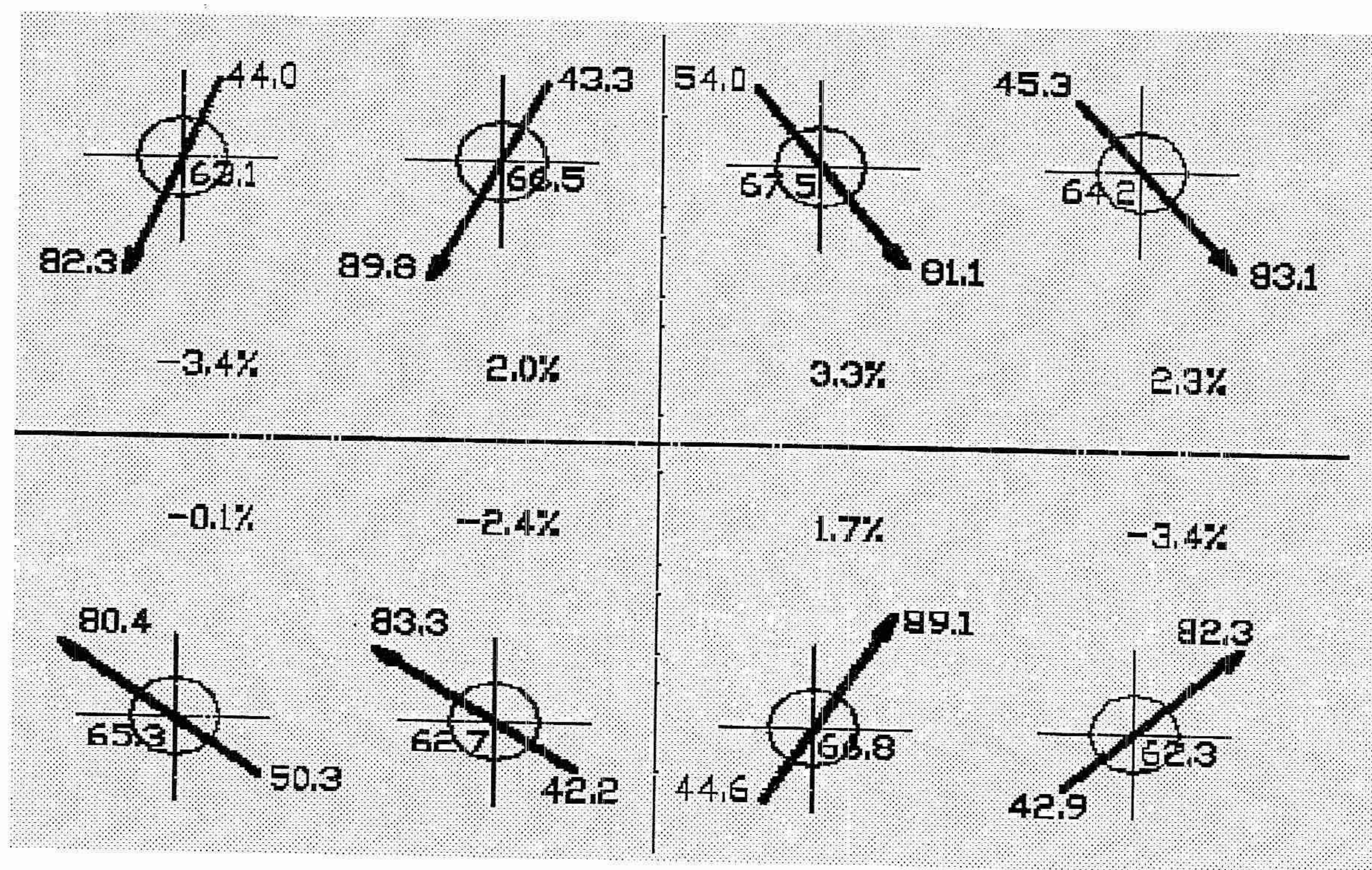


Рис. 1. Схематическое изображение информации, выводимой на экран дисплея:
 - цифры вдоль стрелок дают максимальное, среднее и минимальное напряжения (МПа) по колонне;
 - в процентах даны отклонения усилия по колонне от среднего усилия, вычисленного по всем колоннам.

Если при прессовании будет превышено второе пороговое значение хотя бы одним из указанных выше напряжений, то на пульт управления прессом будет выдан сигнал об аварийной ситуации, и давление рабочей жидкости будет автоматически сброшено.

При достижении напряжением порогового значения, соответствующее окошко на экране монитора закрашивается красным цветом, стрелка вектора данного напряжения также становится красной. В случае превышения пороговых значений напряжений данные на

жесткий диск заносятся полностью, т.е. изменение всех параметров отражаются на протяжении всего процесса штамповки.

Описанная выше система находится в эксплуатации в течении 1,5 лет, претензий к ее работе нет.

2. Главные цилиндры

Описанию и анализу случаев разрушения главных цилиндров посвящены работы [2], [3]. Рассмотрены цилиндры, донная и торцевая часть которых соединены гладкой цилиндрической обечайкой. В то же время в эксплуатации находится значительное число цилиндров, имеющих в цилиндрической обечайке отверстие для подвода рабочей жидкости. Возникновение трещин усталости начинается на контурах этих отверстий.

На рис. 2 показан литой цилиндр пресса силой 18 МН при давлении рабочей жидкости

24 МПа. Цилиндр разрушен трещиной по отверстию в стенке после 1,5 млн. циклов нагружений.

Для замены разрушенного поставлен новый цилиндр. Внешний диаметр увеличен с 1385 мм до 1500 мм, в зоне прилива под штуцер толщина стенки увеличена на 15 мм. Этот цилиндр разрушился от трещины, возникшей в том же месте также после 1,5 млн. циклов нагружений (≈ 14 лет эксплуатации). Расчеты показали, что общее увеличение толщины стенки с 142,5 мм до 200 мм при ее уменьшении в зоне прилива с 232,5 мм до 215 мм не дало уменьшения максимальных растягивающих напряжений на контуре отверстия. В новом цилиндре трещина возникла в том же месте, что и привело к его разрушению. В обоих случаях напряжения на контуре отверстия превышали предел выносливости материала (Ст35Л).

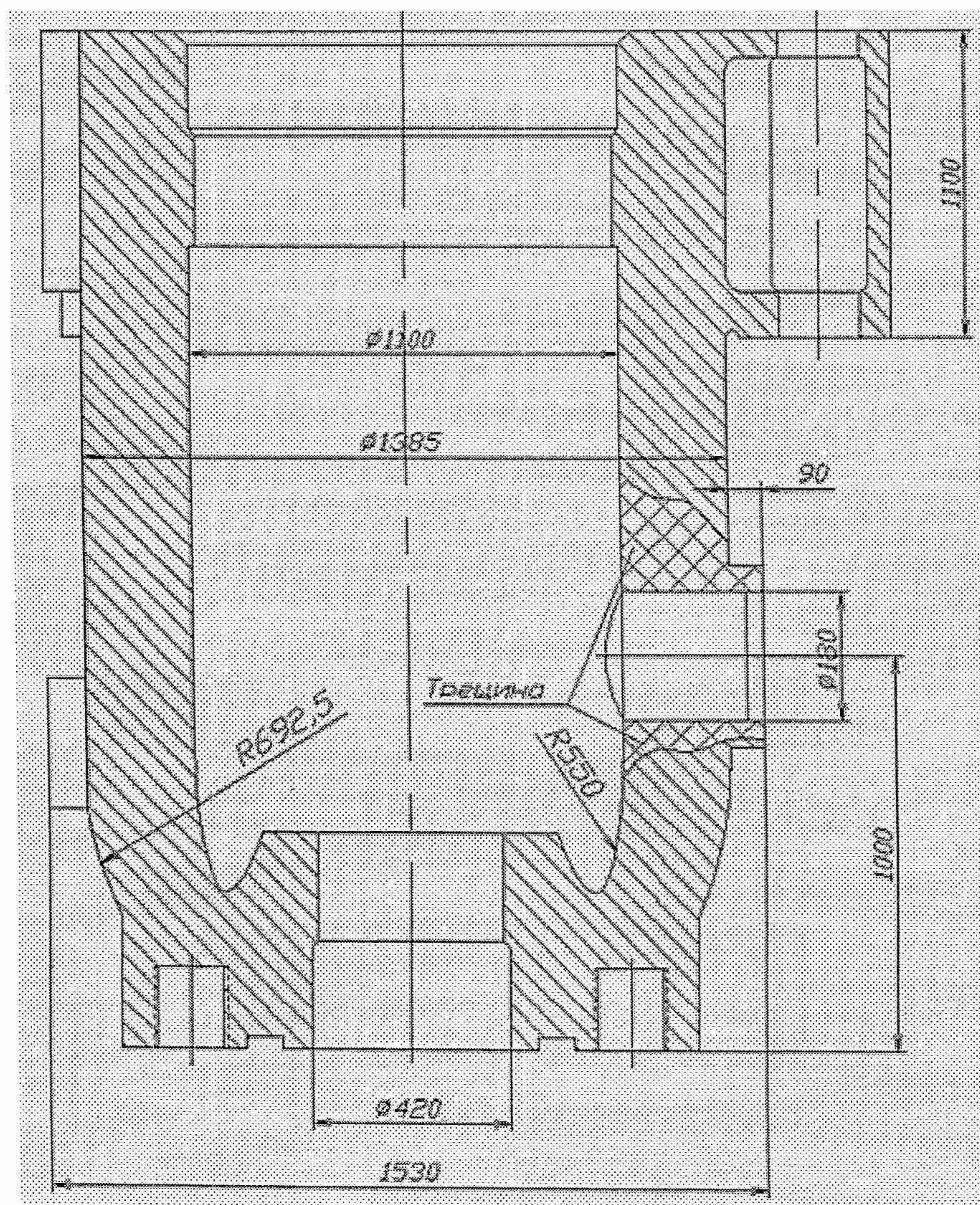


Рис. 2. Цилиндр пресса силой 18 МН, разрушенный по отверстию для подвода рабочей жидкости.

Цилиндр силой 10 МН при давлении 26 МПа также с отверстием в стенке для подвода рабочей жидкости показан на рис. 3. После 6 лет

эксплуатации цилиндр был разрушен трещинами протяженностью до 400 мм, расположенными по образующей выше и ниже отверстия.

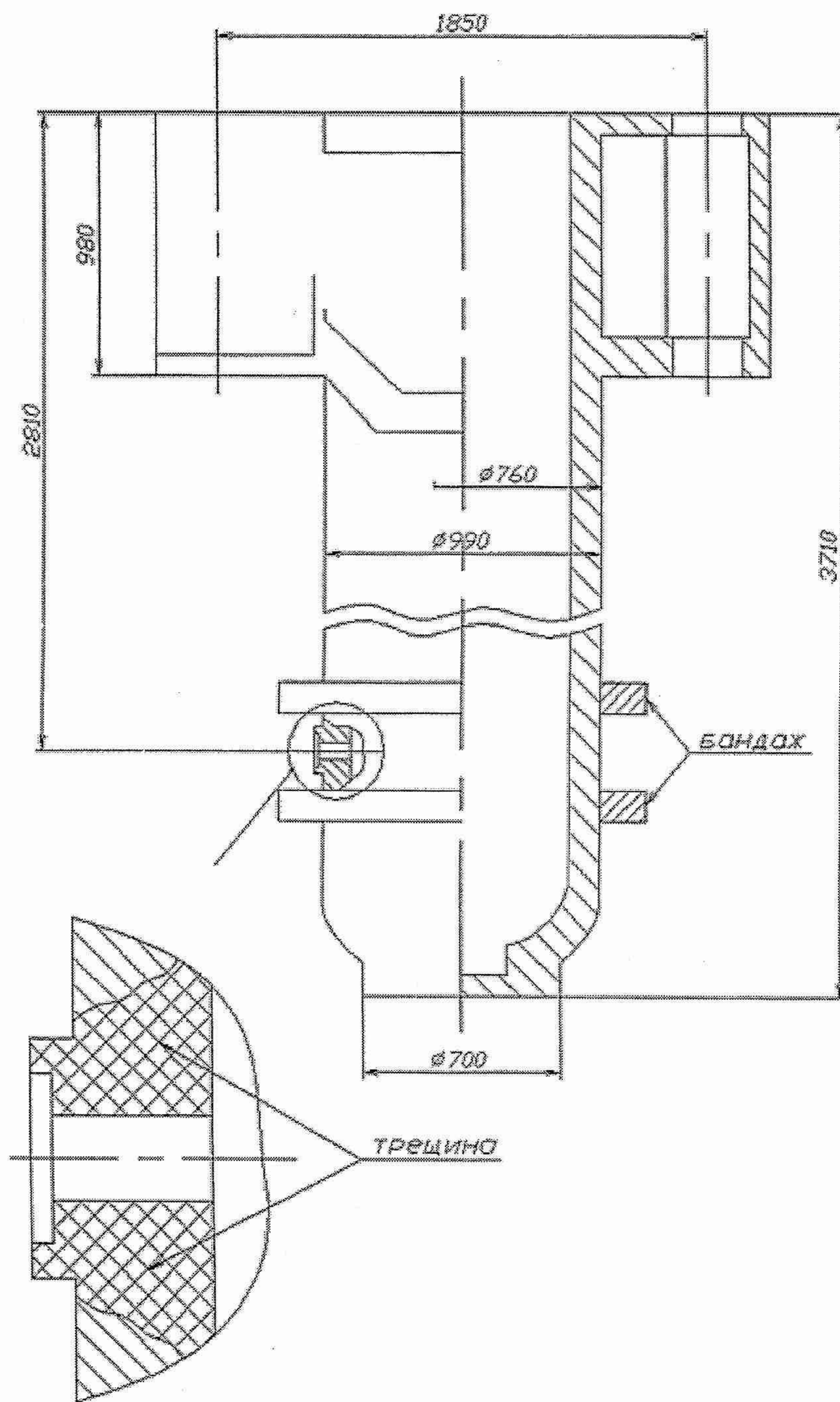


Рис. 3. Цилиндр усилием 10 МН с трещиной от отверстия для подвода рабочей жидкости. Для восстановления работоспособности цилиндр стянут силовыми бандажами по горячей посадке.

Расчеты показали, что напряжения от рабочей нагрузки на контуре отверстия, достигающие 250 МПа, превышают предел выносливости материала (Ст. 35Л), что приводит к возникновению усталостных трещин и неизбежному разрушению цилиндров после нескольких лет работы.

Но если мы установили причину отказа, то практически всегда можно найти решение, устраняющее эту причину, а во многих случаях, внедрить это решение на действующих объектах и предотвратить их разрушение. Для цилиндров с отверстием в боковой стенке предложено выше и ниже отверстия установить силовые бандажи с натягом по горячей

посадке (рис. 3). Радиальные нагрузки от бандажей создают в зоне отверстия сжимающие окружные напряжения, которые превышают растягивающие напряжения от внутреннего давления рабочей жидкости. После заварки трещин и установки бандажей на месте без демонтажа пресса цилиндр работает с 1993 г. Дефектоскопия, проведенная методами неразрушающего контроля, показала, что в зоне отверстия трещин нет.

Следует отметить, что значительный экономический ущерб может быть предотвращен при установке бандажей до начала образования трещин, что связано с уменьшением затрат на капитальный ремонт и сокращением времени простоев. Поэтому первым этапом работы по предупреждению разрушений цилиндров с отверстием для подвода рабочей жидкости в стенке является их расчет с установлением величин максимальных растягивающих напряжений на контуре отверстия. Сопоставление этих напряжений с пределом выносливости материала позволит оценить запас прочности и определить необходимость разработки и внедрения мероприятий по предупреждению разрушений.

3. Составные поперечины

Во многих случаях поперечины мощных гидравлических прессов для обеспечения возможности их изготовления имеют составную конструкцию. Для таких поперечин прочность и долговечность определяются, в значительной степени, обеспечением совместности работы отдельных частей.

На рис. 4 показана подвижная поперечина пресса силой 150 МН и схема ее разрушения. Поперечина состоит из трех продольных балок сложной пространственной формы, стянутых шпильками. Общая масса поперечины 180 т, масса средней балки 95 т. Совместность работы обеспечивают шпоночные выступы и пазы балок и силы трения на плоскостях разъема за счет усилия затяжки стяжных шпилек. До момента обнаружения трещины пресс проработал около 30 лет, сделав за это время более 12 млн нагружений. Номинальные напряжения в опасном сечении при совместной работе всех трех частей равны 50 МПа. Максимальные напряжения с учетом концентрации на контурах отверстий в растянутом поясе не превышают 125 МПа, что меньше предела выносливости материала поперечины (Ст 35Л).

Разрушение поперечины вызвано нарушением совместности работы отдельных ее

частей. При передаче усилия крайних цилиндров только средней балкой номинальные напряжения в ней возрастают вдвое, а максимальные напряжения на контуре отверстия достигают, соответственно, 250 МПа, что значительно выше предела выносливости литой стали. Отмечены и другие места возникновения трещин в составных поперечинах, например, в зонах угловых переходов шпоночных пазов.

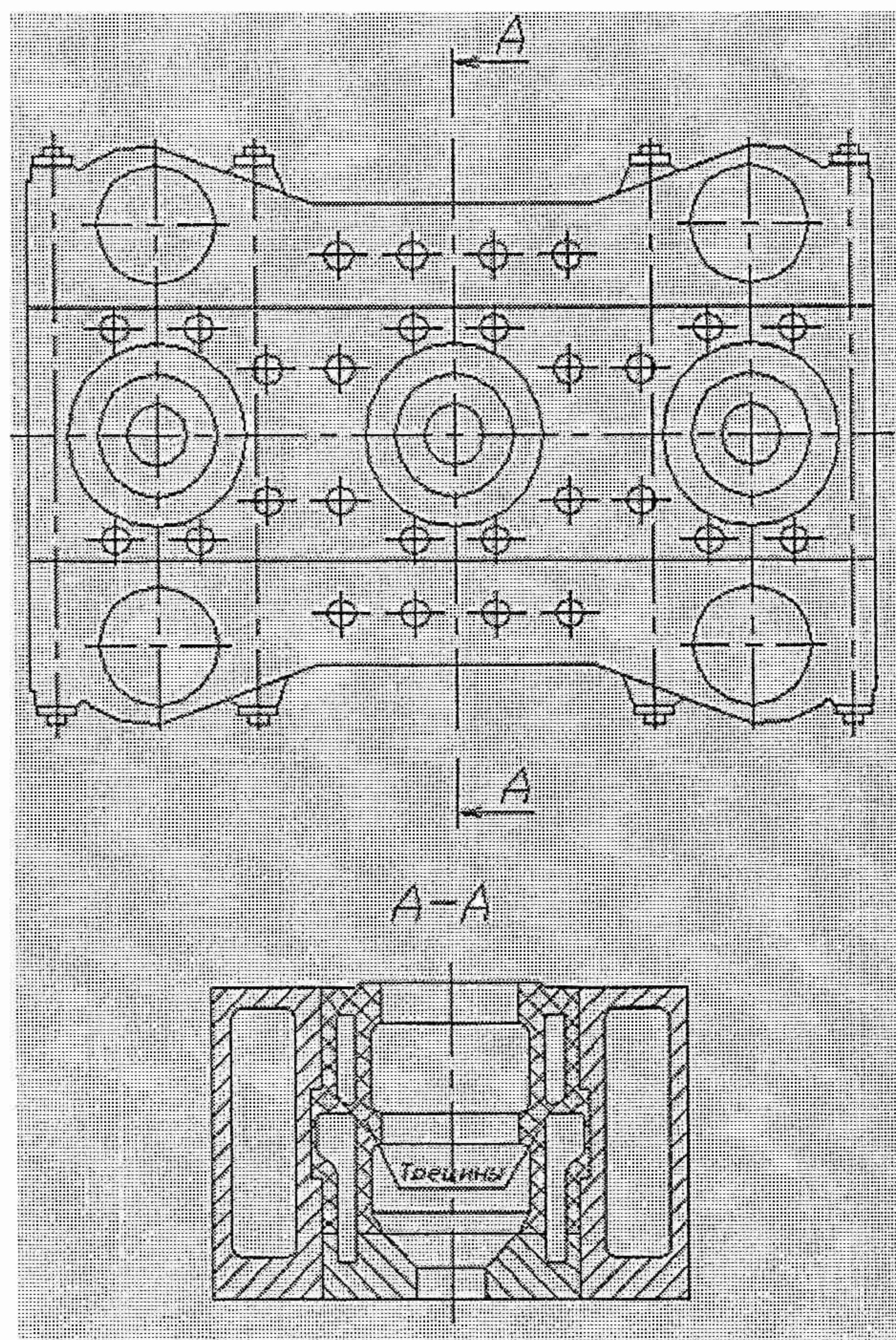


Рис. 4. Разрушение подвижной поперечины пресса силой 150 МН.

Приведенные выше примеры показывают, что для всех типов базовых деталей гидравлических прессов установлены вполне определенные зависимости, связывающие возникновение трещин усталости с напряженным состоянием детали и прочностными характеристиками материала. Это позволяет ставить и решать задачи прогнозирования надежности и предупреждения отказов базовых деталей.

Заключение

1. Отказы базовых деталей не связаны с длительными сроками эксплуатации и естественным процессом старения всего объема металла, в результате которого металл «устает». Практически все отказы вызваны недопустимо высокими напряжениями в зонах конструктивных концентраторов напряжений. Расчеты таких напряжений и конструктивно-технологические методы их снижения до уровня допустимых хорошо разработаны, поэтому своевременное проведение профилактических мероприятий по предупреждению разрушений позволяет обеспечить дальнейшую длительную безотказную работу базовых деталей.

2. Длительность безотказной работы базовых деталей мощных штамповочных прессов также определяется возможностью обеспечения допустимых величин эксцентриситетов усилия пресса и сохранением первоначальных условий силового взаимодействия элементов составных деталей. Для контроля эксцентриситета и условий силового взаимодействия составных конструкций необходимы разработка, изготовление и установка специальных постоянно действующих систем диагностики состояния базовых деталей.

3. На ВСМПО на прессе силой 300 МН установлена и 1,5 года находится в эксплуатации постоянно действующая система диагностики состояния колонн. Система сигнализи-

рует о предаварийном и аварийном уровнях напряжений. Аварийный уровень устанавливается по условию предотвращения опасных для прочности колонны напряжений. Давление рабочей жидкости автоматически сбрасывается, если при прессовании напряжения в колонне превысят аварийный уровень.

4. Основные методические подходы, элементы программного и материального обеспечения, примененные в системе диагностики пресса силой 300 МН, используются в настоящее время при создании системы диагностики базовых деталей пресса силой 750 МН. Главное внимание при разработке этой системы уделяется контролю за сохранением проектных условий силового взаимодействия между пластинчатыми элементами рамной станины и поперечин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сурков И.А. Состояние и перспективы обеспечения прочностной надежности базовых деталей мощных гидравлических прессов // Заготовительные производства в машиностроении. 2004 г. №3. С.24 – 29.
2. Пылайкин П.А. Анализ разрушений базовых деталей мощных гидравлических прессов // Кузнечно-штамповочное производство. 1966. №3. С. 21-27.
3. Кибардин Л.П. Анализ разрушений гидравлических цилиндров. Гидравлические прессы. М.: Машиностроение, 1966. С. 414-431.