

ЧЕРНЫЕ металлы



Перевод с немецкого СЕНТЯБРЬ 2008

stahl
und
eisen

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПО АКТУАЛЬНЫМ ПРОБЛЕМАМ МЕТАЛЛУРГИИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН



ПРОЧНОСТНАЯ НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН — ОСНОВА МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

*Н. В. ПАСЕЧНИК, И. А. СУРКОВ**

Металлургический комплекс входит в состав производств, составляющих основу промышленного и оборонного потенциала России. Продукция, выпускаемая металлургическим комплексом, имеет непосредственное отношение к необходимости увеличения внутреннего валового продукта (ВВП) в России в 2 раза к 2010 г. Одним из основных путей увеличения объема и качества продукции является изыскание внутренних возможностей производства на основе его модернизации. В первую очередь этот путь применим к металлургии, так как металлургические технологии имеют весьма длительный период морального старения. Это позволяет получать новые технологические возможности за счет модернизации систем привода, управления, механизации и автоматизации при сохранении основных несущих базовых деталей.

Сроки эксплуатации большинства металлургических машин и оборудования составляют 30–40 лет и более. С увеличением срока службы увеличивается число отказов базовых деталей и в общем случае встает вопрос о прекращении эксплуатации оборудования в связи с физическим износом. Поэтому на современном этапе у руководителей предприятий возникает необходимость выбора экономически обоснованного пути развития производства: дальнейшая эксплуатация действующего оборудования или замена существующих машин новыми. Следует напомнить, что масса таких металлургических машин, как гидравлические прессы усилием 750, 300, 150 и 100 МН составляет, соответственно, 20500, 6500, 2000 и 1000 т, габариты отдельных деталей достигают нескольких десятков метров, а масса превышает сотни тонн. Создание подобных машин в сжатые сроки на современном этапе связано не только с экономическими трудностями, но во многих случаях — с более серьезными затруднениями технологического характера. Естественно, что такие машины должны быть сохранены для дальнейшей эксплуатации. В связи с этим прогноз и обеспечение прочностной надежности металлургических машин являются

ся первоочередными задачами, решение которых должно предшествовать модернизации или являться ее первым этапом.

Работы по прогнозу и обеспечению прочностной надежности металлургических машин проводятся по следующим направлениям:

- экспертиза состояния, прогноз надежности и обоснование возможности безотказной работы базовых деталей при дальнейшей длительной эксплуатации;

- разработка конструктивных и технологических решений для предупреждения отказов действующих машин и их модернизация, обеспечивающая дальнейшую длительную безотказную работу при существующих режимах эксплуатации, при значительном увеличении производительности и рабочих усилий;

- разработка и установка систем диагностики для управления прочностными и технологическими параметрами металлургических машин;

- разработка технологии, подбор и изготовление оборудования и выполнение на месте работ по восстановлению поврежденных в процессе эксплуатации крупногабаритных базовых деталей;

- составление паспортов надежности металлургических машин с обоснованием запасов прочности и долговечности при существующих режимах эксплуатации и после модернизации.

Основные результаты работ по данным направлениям представлены на примере мощных гидравлических прессов. Поскольку базовые детали прессов имеют высокий уровень абсолютных и удельных нагрузок, то для них недостаточный уровень надежности проявляется в максимальной степени. Так, по данным ПО «Уралмаш» и Коломенского СПО, в период 1970–1979 гг. для замены деталей было изготовлено 149 колонн, 105 цилиндров, 149 поперечин общей массой 8500 т. Причем большая часть запасных деталей для прессов ПО «Уралмаш» и Коломенский СПО машиностроительные заводы изготавливали сами. В последующие годы поток отказов не снизился, так как увеличились сроки эксплуатации и число прессов.

Расположение и основные конструктивные элементы базовых деталей гидравлического пресса кон-

* Докт. техн. наук, профессор Н. В. Пасечник, АХК «ВНИИМЕТМАШ им. академика А. И. Целикова»; канд. техн. наук И. А. Сурков, ООО «Надежность Плюс», Россия.

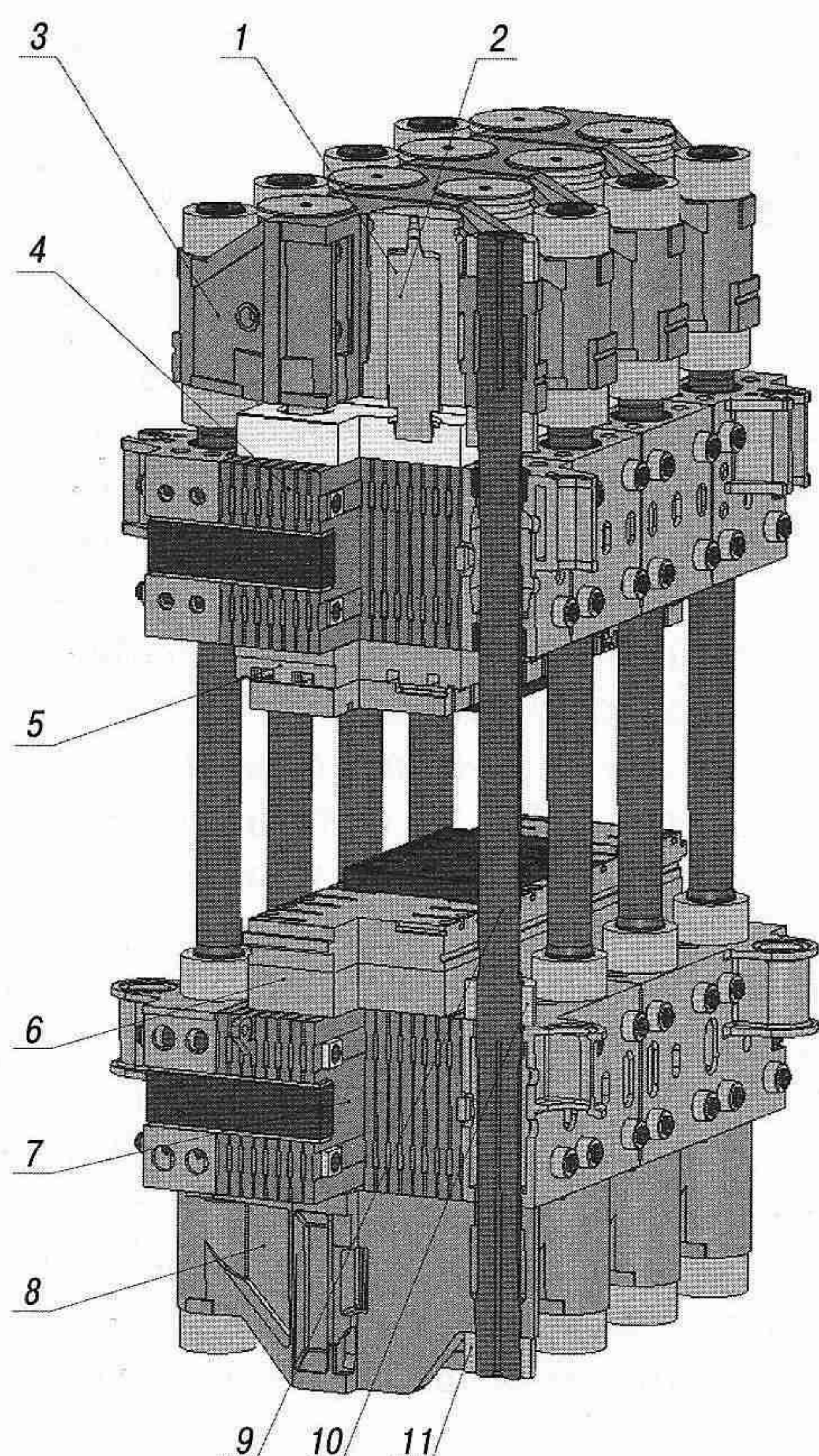


Рис. 1. Гидравлический пресс конструкции УЗТМ усилием 300 МН:

1 — гидроцилиндр; 2 — плунжер; 3 — поперечина верхняя; 4 — продольные балки подвижной поперечины; 5 — плиты верхнего штампового набора; 6 — плиты нижнего штампового набора; 7 — основание; 8 — поперечина нижняя; 9 — колонна; 10 — гайка внутренняя; 11 — гайка внешняя

струкции УЗТМ усилием 300 МН представлены на рис. 1. Усилие пресса создается рабочими цилиндрами, в которых под действием давления рабочей жидкости перемещаются плунжеры, передающие нагрузку на верхнюю подвижную поперечину. Через плиты верхнего и нижнего штампового наборов (деформируемое тело на рисунке не показано) нагрузка передается на основание, которое опирается на четыре нижние поперечины. От нижних поперечин через колонны нагрузка передается к архитравам. Затяжка колонн в поперечинах производится термическим путем, а нагрев колонн — теплоэлектронагревательными элементами (ТЭН), размещенными в центральных отверстиях колонн.

Колонны

Среди базовых деталей пресса колонна является наиболее простой по геометрической форме, расчету напряженного состояния и прочности. Однако разрушения колонн составляют наиболее многочисленную группу отказов базовых деталей, и практически во всех случаях разрушается или повреждается резьба (рис. 2).

Проектным режимом работы колонн предусматривается усилие их предварительной затяжки в поперечинах, превышающее усилие от рабочей нагрузки. Анализ отказов колонн показал, что все они вызваны ослаблением или отсутствием предварительной затяжки. Отсутствие затяжки приводит к увеличению амплитуды напряжений в витках внешней резьбы и раскрытию стыков между гайкой колонны и поперечиной. Увеличение амплитуды приводит к возникновению трещин усталости и разрушению колонны по виткам резьбы. Работа колонны с раскрытыми стыками создает условия для возникновения динамических нагрузок и проникновения агрессивной среды. Поэтому до возникновения трещин усталости за счет совместного действия коррозии, ударных нагрузок и фреттинг-износа резьба колонны может быть частично разрушена или полностью уничтожена.

Недостаточное или полное отсутствие усилия затяжки колонн вызваны ошибками поставщика, в результате которых первоначальная затяжка при монтаже пресса не обеспечивает длительной работы колонн в проектных условиях (без раскрытия стыков). Это связано с тем, что инструкции по затяжке колонн дают параметры затяжки без учета термических удлинений, связанных с конструктивными особенностями деталей узла колонна — гайки — поперечина и отклонениями в пределах допусков размеров крупногабаритных деталей от номинальных размеров. Кроме того, в инструкциях по монтажу и эксплуатации отсутствуют указания о необходимости определения фактического усилия взаимодействия колонны и колонного стакана, которое возникает после проведения затяжки.

Для предупреждения отказов колонн действующих прессов разработаны и внедрены следующие технические решения.

1. Технология и переносные расточно-наплавочные комплексы для восстановления на месте поврежденных поверхностей поперечин в зоне контакта с гайками колонн.

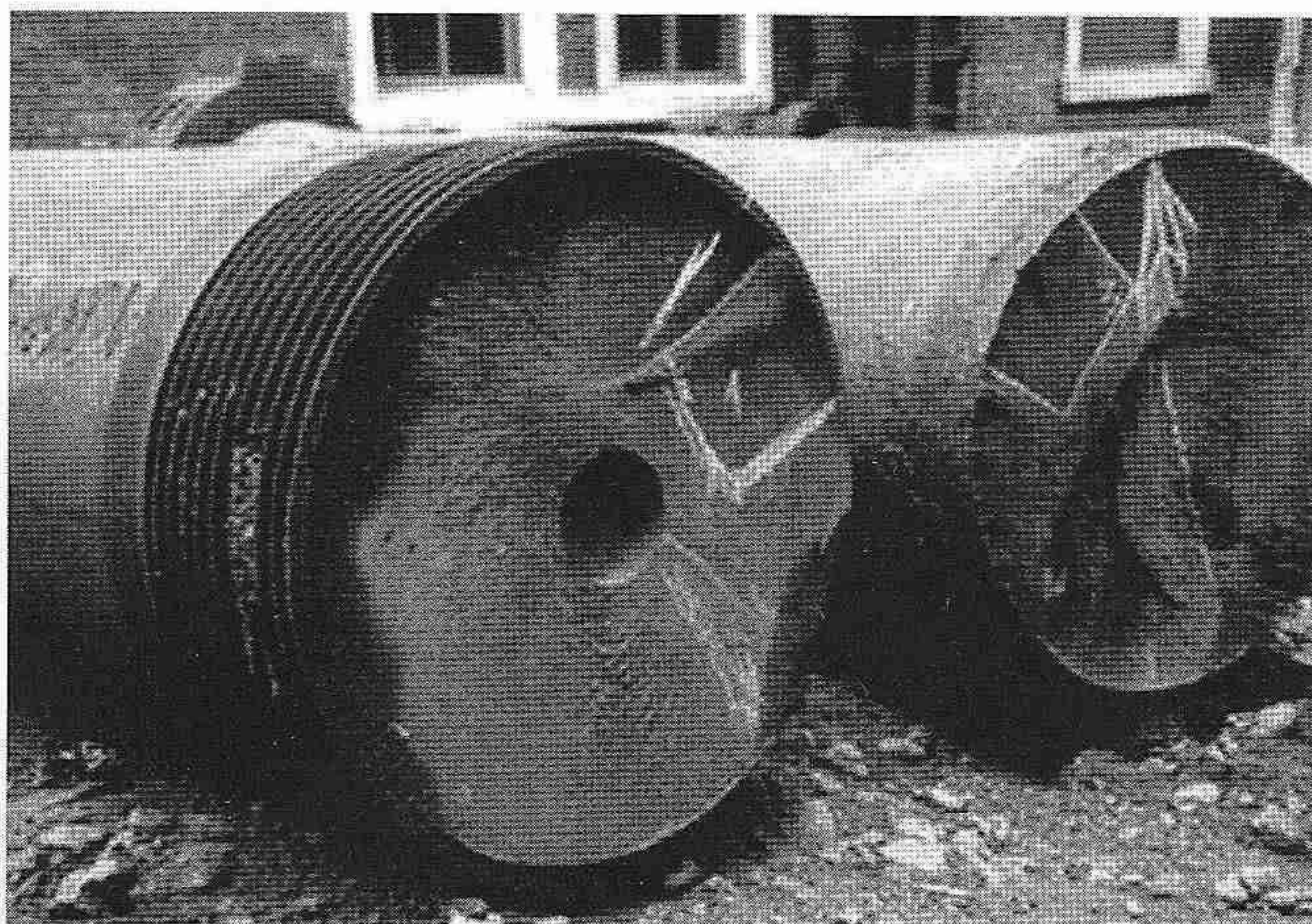


Рис. 2. Поверхности излома разрушенных колонн пресса усилием 70 МН для изготовления железнодорожных колес (диаметр колонн 600 мм)

2. Технология, позволяющая обеспечить необходимое усилие затяжки колонн в поперечинах на протяжении заданного срока эксплуатации. Эту технологию следует использовать как для вновь монтируемых базовых деталей, так и для деталей, восстановленных после ремонта.

3. Дефектоскопия колонн для раннего обнаружения возможных трещин в витках резьбы. Для дефектоскопии резьбовых участков колонн используются специально отработанные методы ультразвукового контроля (УЗК). Трещины небольшой протяженности могут быть устранены без ущерба для прочности и долговечности колонны.

4. Методика, специальные датчики и программное обеспечение для контроля усилия затяжки между гайкой колонны и поперечиной в процессе эксплуатации. Предусмотрены возможности определения нагрузки, вызывающей раскрытие стыка, и запаса усилия затяжки.

Результаты контроля раскрытия стыка в процессе рабочего нагружения выводятся на экран (рис. 3, а). В случае, если стык не раскрывается, датчик регистрирует только давление в главных цилиндрах, характеризующее режим нагружения пресса. При раскрытии стыка на экране появляется горизонтальная пря-

мая, определяющая давление начала раскрытия стыка ($q_{p.c.}$).

Результаты определения запаса усилия затяжки показаны на рис. 3, б. Напряжение $\sigma_{зат}$ от усилия затяжки в колонном стакане имеет отрицательное значение, напряжение от рабочей нагрузки $\sigma_{раб}$ — положительное значение, но для наглядности обе кривые показаны выше оси абсцисс. Запас усилия затяжки определяется отношением $n = \sigma_{зат} / \sigma_{раб}$. Если $n < n_{расч}$, то необходимо восстановить проектное усилие затяжки.

5. Система контроля и ограничения максимальных напряжений. Напряженное состояние и прочность колонн мощных штамповочных прессов в значительной степени определяются эксцентриситетом нагружения пресса. При эксцентриситете 200 мм напряжения в колоннах пресса усилием 300 МН возрастают в 1,6 раза по сравнению с центральным нагружением и достигают величины 190 МПа, что превосходит допустимый уровень. В большинстве случаев при штамповке деталей сложной конфигурации величина эксцентриситета остается неизвестной, поэтому колонны должны быть защищены от поломок системой контроля и ограничения напряжений. Такая система была спроектирована, изготовлена и установлена на прессе усилием 300 МН конструкции ЧЗТМ (рис. 1), работающем в Верхнесалдинском металлургическом объединении.

На каждой колонне пресса закреплены четыре тензодатчика, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров, параллельных продольной и поперечной осям пресса. Датчики установлены под верхней поперечиной в зоне возникновения максимальных напряжений. Система сигнализации выполнена с предаварийным и аварийным уровнями напряжений. Аварийный уровень устанавливается по условию предотвращения опасных для прочности колонны напряжений.

На рис. 4 на примере штамповки реальных деталей на прессе усилием 300 МН показана выводимая на экран информация. Стрелки отображают направления действия максимальных напряжений, а цифры от начала стрелки (последовательно) — максимальное, среднее и минимальное напряжения по колонне. В процентах даны отклонения нагрузки по колонне от средней величины.

По направлению стрелок можно видеть, что при штамповке одной заготовки нагружение пресса было практически центральным (рис. 4, а), а при штамповке другой заготовки возник эксцентриситет нагружения в направлении поперечной оси пресса (рис. 4, б). В обоих случаях усилия прессования были одинаковыми, о чем можно судить по напряженному состоянию колонн. В первом случае среднее напряжение по колонне составляет 64,76 МПа, во втором случае 65,66 МПа, т. е. разница меньше 0,01, что находится в пределах точности измерения и задания нагрузки на прессе. Максимальные напряжения в колоннах составляют в первом случае ~90 МПа, во

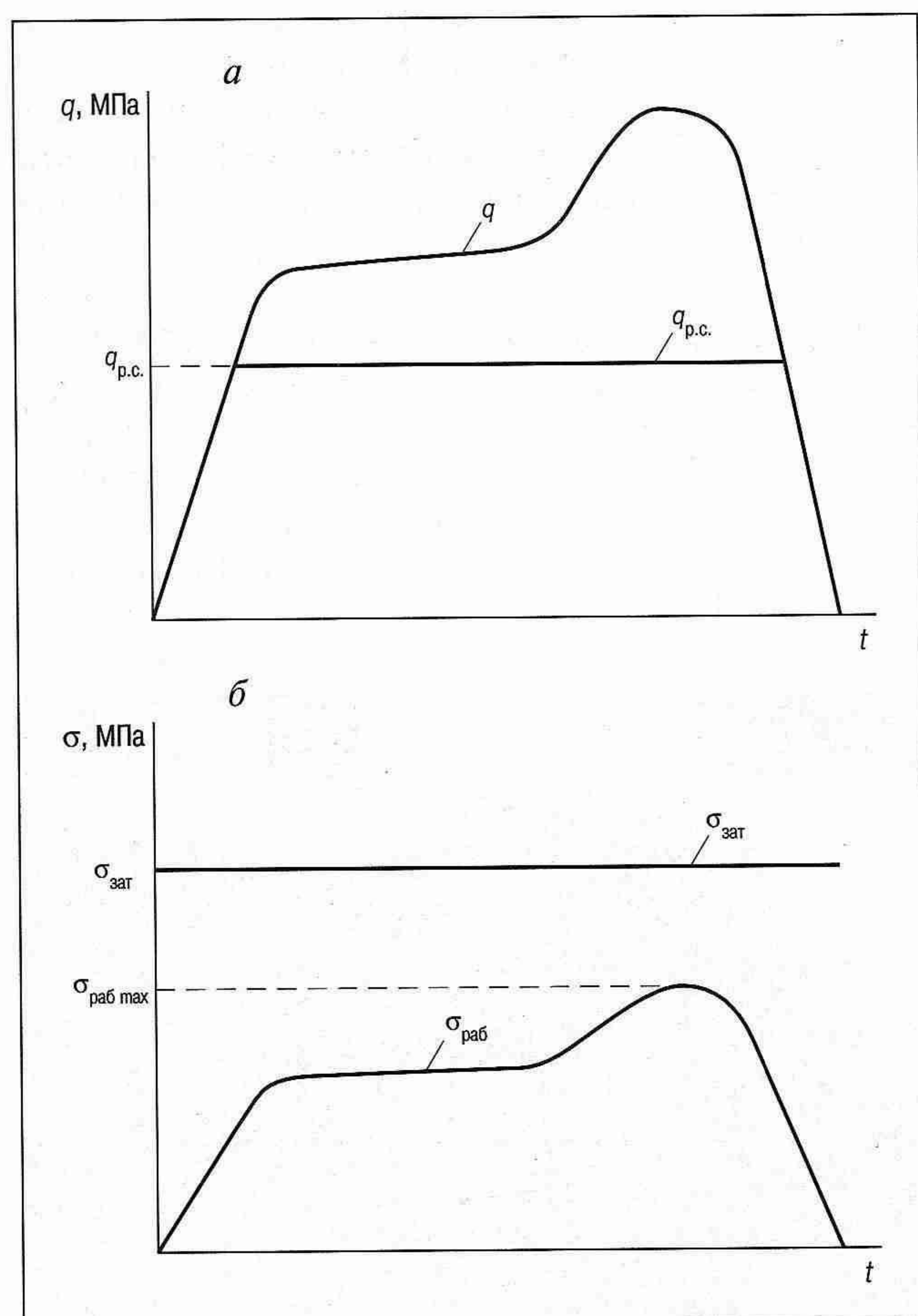


Рис. 3. Контроль усилия затяжки колонн в поперечинах (а — состояния стыка между гайкой и поперечиной, б — контроль запаса по усилию затяжки)

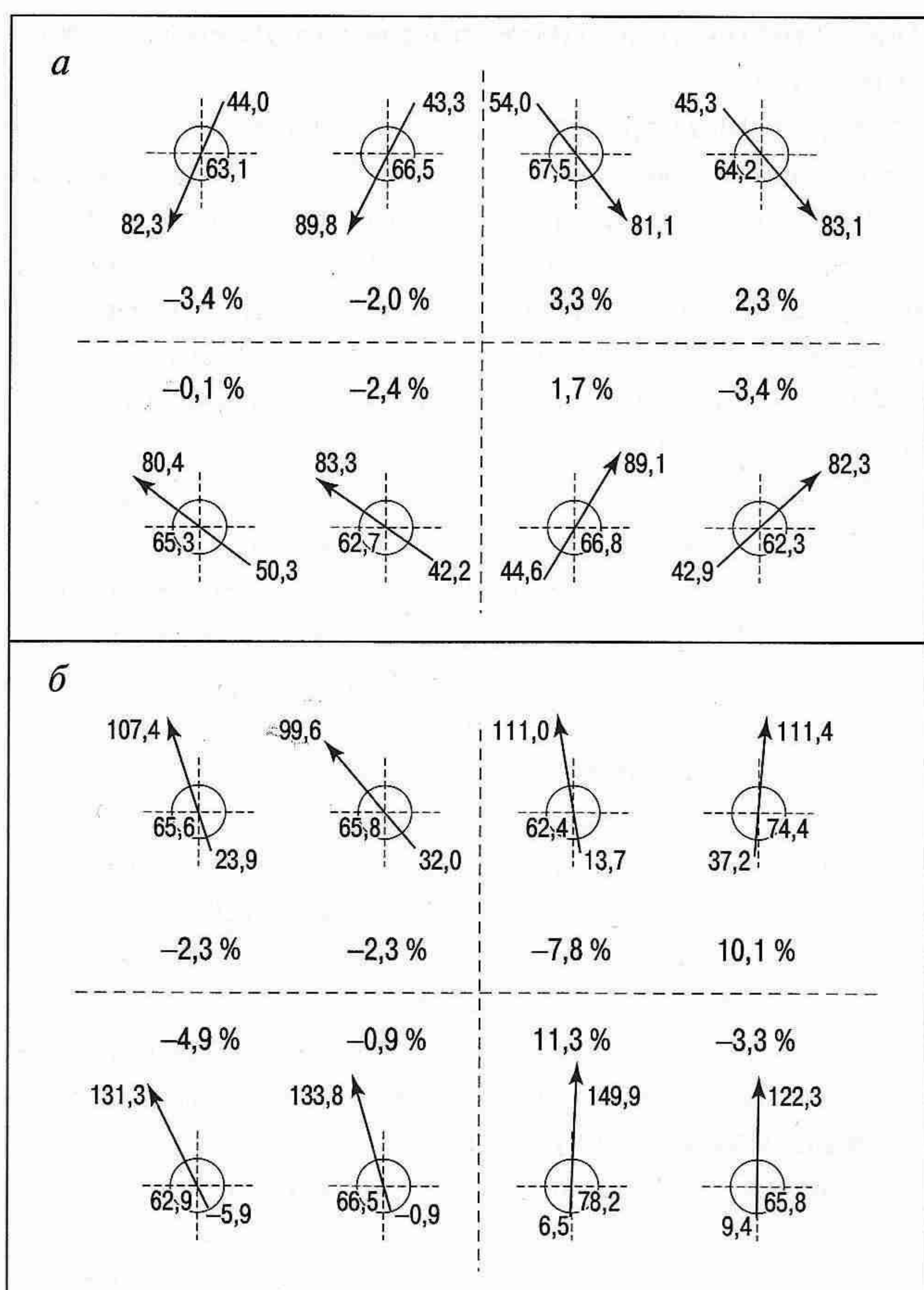


Рис. 4. Информация на экране при штамповке реальных деталей на прессе усилием 300 МН (а — практически центральное нагружение прессы, б — эксцентриситет в направлении поперечной оси прессы)

втором ~150 МПа, т. е. различаются в 1,67 раза. Усилие прессы, найденное по средним напряжениям в колоннах, составило 23578 т.

Следует отметить, что установленная система диагностики впервые дала возможность определить усилие мощного гидравлического прессы, передающееся на производственную заготовку, т. е. фактическое усилие. Обычно усилие прессы определяют по давлению рабочей жидкости в цилиндрах, которое за счет потерь в уплотнениях главных цилиндров и других узлах трения фактически снижается. Также впервые непрерывно в масштабе реального времени для каждой производственной заготовки можно определить направление и величину максимальных напряжений в каждой колонне.

Система диагностики находится в эксплуатации в течение четырех лет, и претензий к ее работе нет. Систему можно использовать для контроля параметров технологического процесса по критериям эксцентриситета и фактического усилия прессы.

Восстановление колонн с разрушенной резьбой осуществляется путем переточки резьбовой части на меньший диаметр и нарезания новой резьбы. Для обеспечения равнопрочности новой и первоначаль-

ной резьбы разработаны специальные типы резьбы, имеющие оптимальную конфигурацию переходных сечений. Для колонн, имеющих обрыв с одной стороны по виткам внешней резьбы, разработаны и апробированы технические решения, позволяющие восстановить их работоспособность без применения сварки.

Главные цилиндры

Значительное число цилиндров, находящихся в эксплуатации, имеют в стенке отверстия для подвода рабочей жидкости, которые являются концентраторами напряжений. На контурах этих отверстий и возникают усталостные трещины.

На рис. 5 показан литой цилиндр прессы силой 18 МН при давлении рабочей жидкости 24 МПа, который имеет трещину отверстия в стенке после 1,5 млн. циклов нагружений. Расчеты показали, что напряжения на контуре отверстия превышали предел выносливости материала (Ст35Л).

В ряде случаев разрушение цилиндров связано с возникновением и развитием усталостных трещин в галтели днища. В качестве примера на рис. 6 представлена схема произошедшего в 1994 г. разрушения сварного цилиндра из стали Ст 35 силой 500 МН. Аналогичная трещина была обнаружена в 2004 г. в цилиндре усилием 35 МН, изготовленного из той же стали. Разрушения по такой же схеме происходили ранее в цилиндрах, изготовленных из стали 25 ГС. Отмеченные выше разрушения днищ проис-

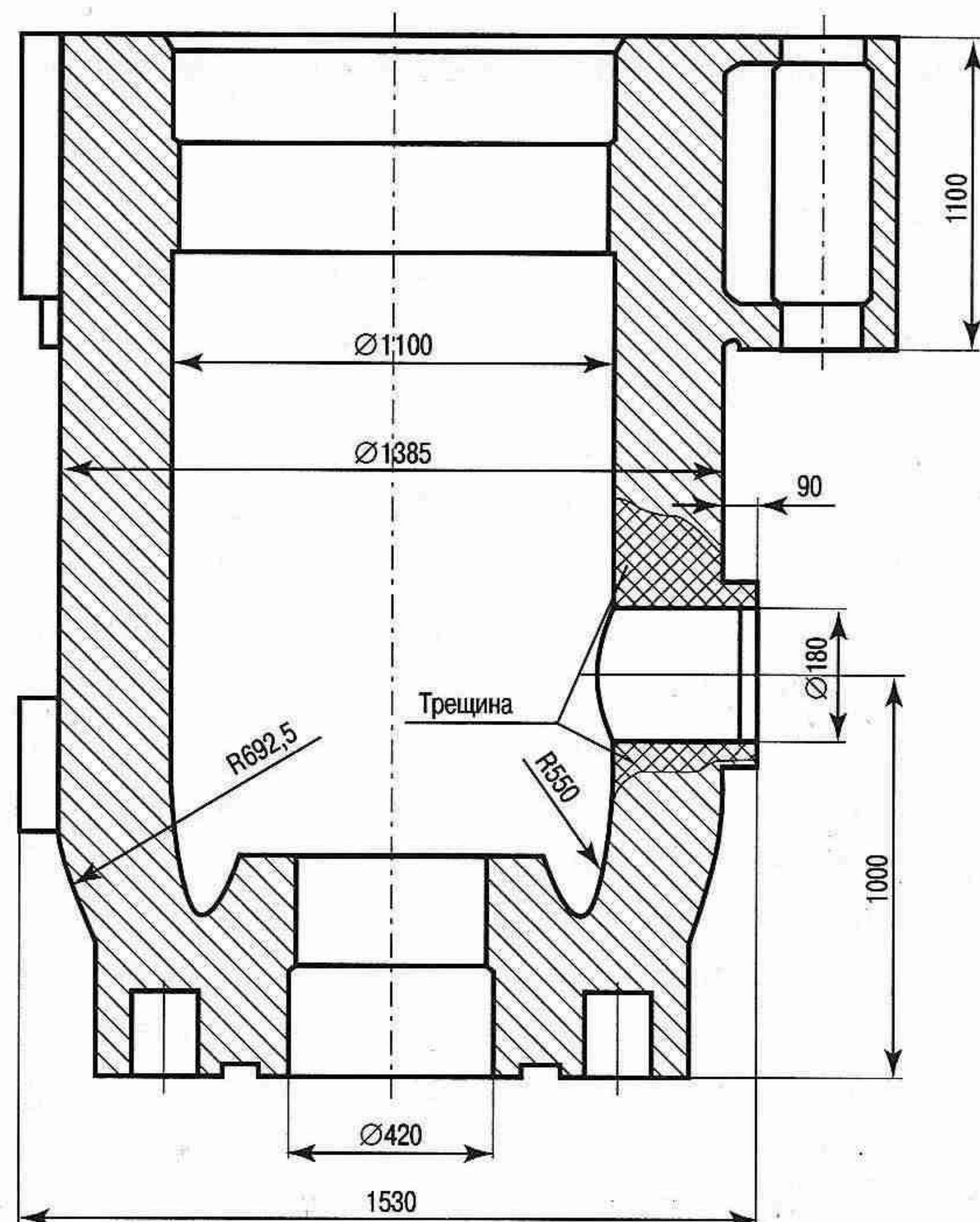


Рис. 5. Цилиндр прессы усилием 18 МН и давлением рабочей жидкости 24 МПа с трещиной в зоне отверстия для подвода рабочей жидкости

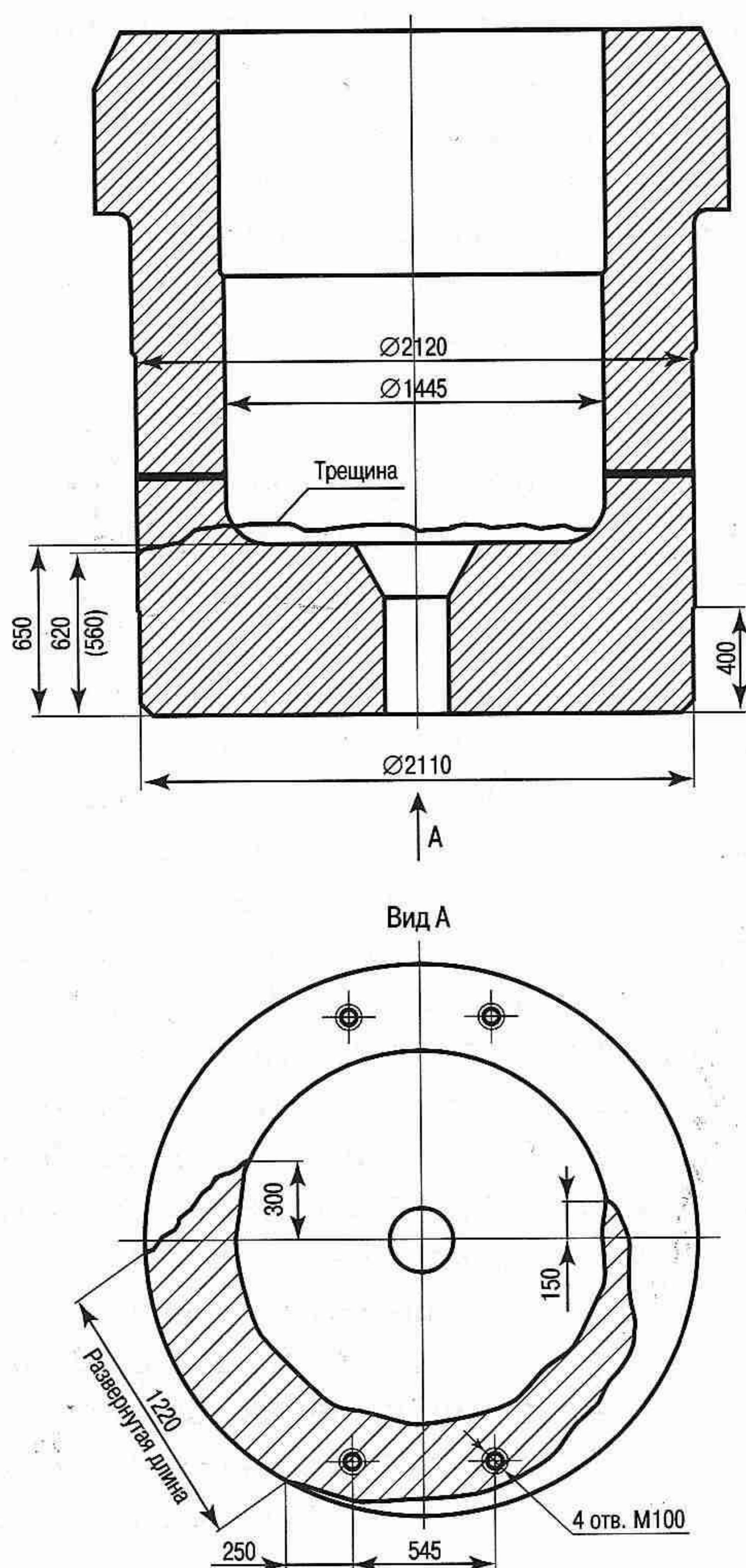


Рис. 6. Трещина в днище сварного цилиндра пресса усилием 50 МН

ходили в цилиндрах прессов, установленных в линиях производства железнодорожных колес.

Результаты исследований материала цилиндров показали, что предел выносливости материала в зоне днища не превышает 160 МПа, в то время как для сталей Ст 35 и 25 ГС предел выносливости при пульсирующем нагружении должен составлять не менее 275 МПа. Значительное снижение предела выносливости материала произошло за счет систематических металлургических дефектов и технологических ошибок, что и явилось причиной возникновения трещин в зоне днища.

В рассмотренных выше примерах причина отказа определяется конструкцией и технологией изготовления собственно цилиндра. В ряде случаев причина отказов связана с условиями совместной работы цилиндра и поперечины, в которую он установлен.

Узлы цилиндры — архитрав прессов усилием 160 МН и 200 МН для окончательной формовки нефтегазовых труб диаметром 1220 мм имеют по шесть цилиндров, работающих на общий инстру-

мент длиной 12 м. Цилиндры могут развивать силу 27 и 33 МН.

Через каждые два года эксплуатации (около 1 млн. циклов нагружений) в галтелях фланцев цилиндров возникали трещины большой протяженности, расположенные в зонах продольной оси пресса. На момент начала эксплуатации максимальные растягивающие напряжения в этих зонах не превышали 88 МПа, что не могло вызвать возникновения усталостных трещин.

Результаты исследований показали, что разрушения происходили за счет значительной и неравномерной выработки контактной поверхности архитравов. Причем минимальные глубины выработки (опорные ступеньки) располагались в зонах продольной оси пресса на обеих сторонах цилиндра. Суммарная площадь контакта фланца и архитрава вследствие образования этих ступенек составляла менее половины первоначальной площади. Значительное увеличение контактных давлений на фланец привело к возрастанию напряжений в галтели фланца до значений, превышающих предел выносливости материала.

Для предупреждения отказов цилиндров действующих прессов были выполнены расчеты, определяющие максимальные напряжения в зонах их концентрации (галтель фланца, отверстие в стенке, галтель днища). Для зон с очень высокими величинами действующих напряжений были разработаны конструктивно-технологические решения, обеспечивающие необходимое увеличение запасов прочности.

Для оценки изменения условий контактного взаимодействия в узле цилиндр — архитрав выявлены зависимости геометрии архитрава и цилиндра с взаимными смещениями и выработкой их контактных поверхностей. На основании этих зависимостей разработаны конструктивные решения, позволяющие уменьшить выработку контактных поверхностей и предотвратить разрушение как вновь проектируемых, так и действующих конструкций.

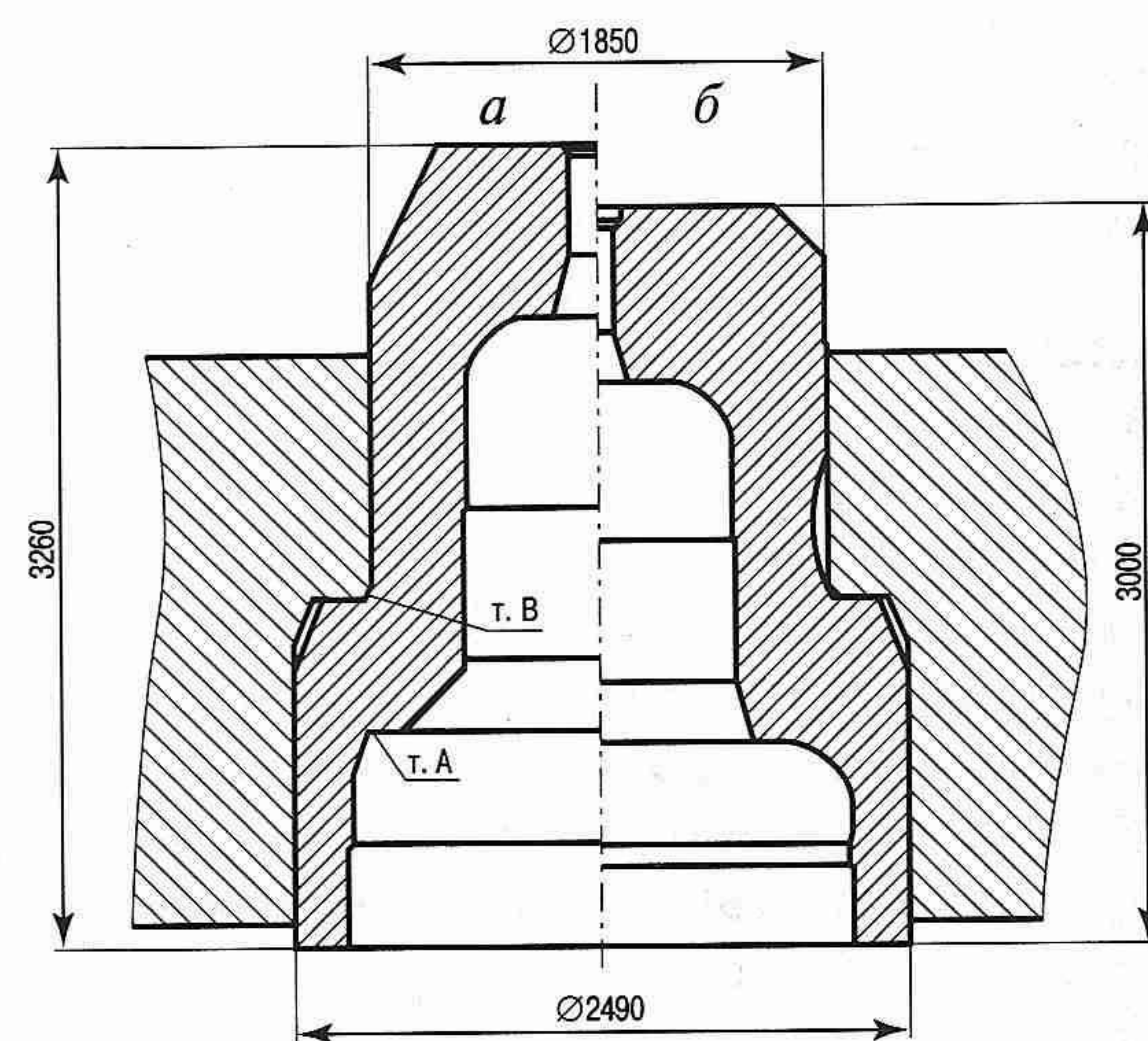


Рис. 7. Модернизация цилиндра пресса усилием 300 МН (а — до модернизации, б — после модернизации)

К числу мероприятий, предупреждающих отказы цилиндров, следует отнести модернизацию цилиндров, изготавливаемых для замены разрушенных. В качестве примера на рис. 7 показан цилиндр пресса усилием 300 МН.

Цилиндр первоначальной конструкции (рис. 7, а) разрушился после 55 тыс. циклов нагружений. Анализ поломки показал, что разрушение началось с усталостной трещины, которая образовалась в зоне внутренней галтели (А). Результаты исследований показали, что максимальные напряжения в этом месте достигали 420 МПа. Примерно такая же величина напряжений была получена и для внешней галтели цилиндра (В). Для повышения долговечности нового цилиндра необходимо было снизить напряжения как во внутренней, так и во внешней галтелях.

Проработка вариантов конструкции цилиндра показала, что, изменив конструкцию плунжера и уменьшив его ход с 350 до 300 мм, можно увеличить базу внутренней галтели с 80 до 300 мм (рис. 7, б). Это снижает напряжения в два раза (220 МПа) и существенно повышает долговечность материала в зоне галтели. Выполнить таким же радиусом внешнюю галтель нельзя, так как для этого надо переделывать станину пресса. Для снижения напряжений внешнюю галтель выполнили по форме оптимальной кривой с поднутрением стенки, что уменьшило максимальные напряжения в 1,26 раза и обеспечило запас прочности по усталости $n = 1,2$.

Восстановление цилиндров, разрушенных по отверстию для подвода рабочей жидкости осуществляется с помощью силовых бандажей, установленных с натягом выше и ниже отверстия. В качестве примера на рис. 8 показан цилиндр на усилие 10 МН при давлении 26 МПа. После шести лет эксплуатации цилиндр был разрушен трещинами протяженностью до 400 мм, расположенными по образующей выше и ниже отверстия для подвода рабочей жидкости. Расчеты показали, что напряжения от рабочей нагрузки

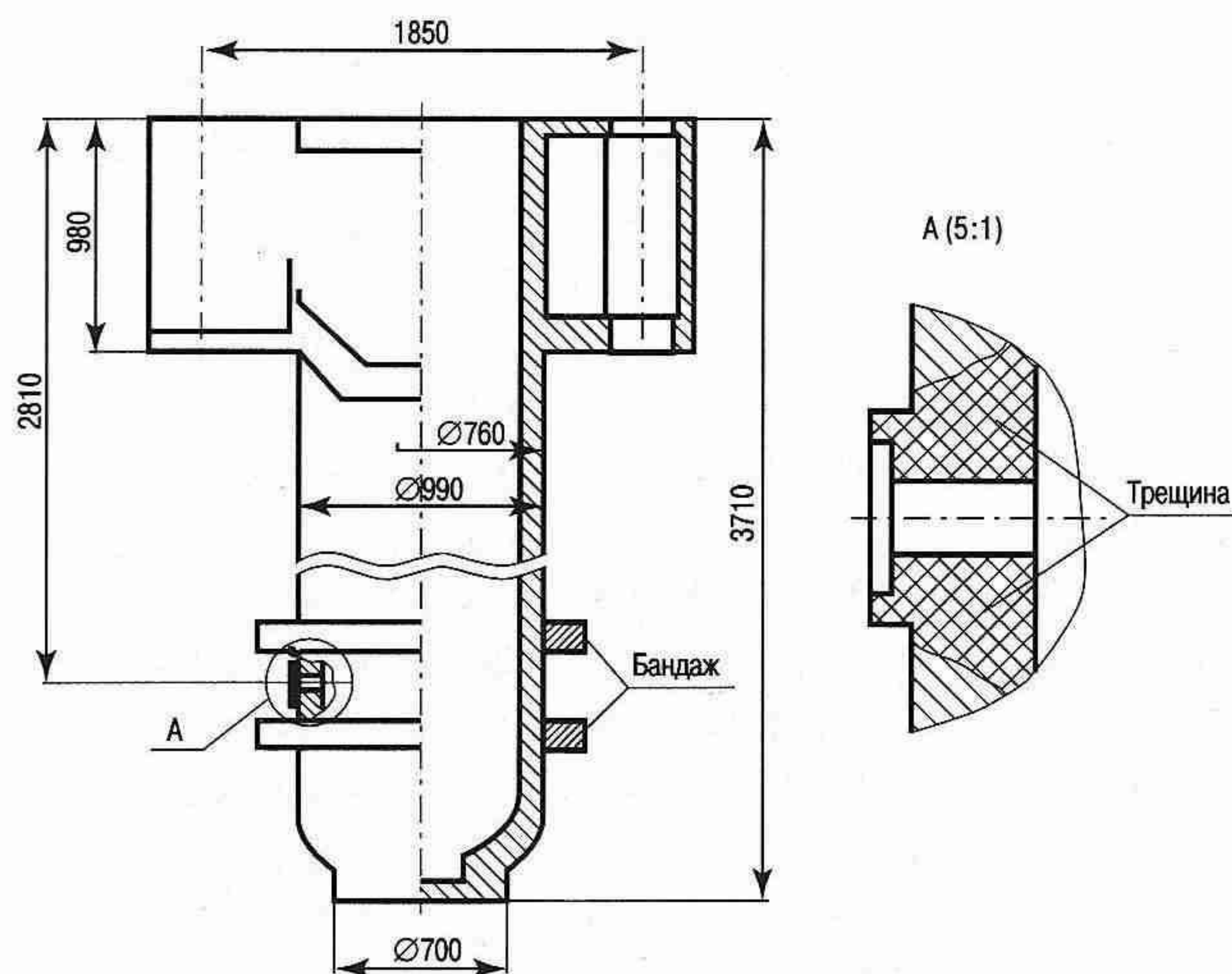


Рис. 8. Восстановление цилиндра с трещинами с помощью бандажей

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

Бандажи были установлены на месте без демонтажа пресса. Бандажи создают в зоне отверстия окружные сжимающие напряжения, которые превышают растягивающие напряжения от внутреннего давления рабочей жидкости. После заварки трещин и установки бандажей цилиндр продолжает работать. Дефектоскопия, проведенная методами неразрушающего контроля, показала, что в зоне отверстия трещин нет.

Восстановление цилиндров с трещинами в галтели днища осуществляется сваркой в цеховых условиях без предварительного подогрева и последующей термообработки с применением специальных электродов и технологии. В цилиндре силой 35 МН расположение трещины примерно соответствовало расположению трещины, показанной на рис. 6, но без выхода на внешнюю поверхность. Протяженность трещины по окружности составляла около 180° , максимальная глубина достигала 180 мм. Заварка трещины вручную в 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 для заварки трещины были применены сварочные материалы на основе никеля, которые позволяют выполнять сварочные работы на крупногабаритных деталях без предварительного подогрева и последующей термообработки.

Восстановление цилиндра силой 35 МН сваркой без предварительного подогрева и последующей термообработки и его установка на пресс были осуществлены во время планового капитального ремонта в апреле 2004 г. Сварка проводилась непрерывно в течение семи суток. Цилиндр отработал запланированный год до капитального ремонта в апреле 2005 г., пройдя 750 тыс. циклов нагружений полным усилием.

Литые поперечины

1. Поперечины прессов изготавливаются главным образом из литой стали 35Л. Отказы поперечин вызваны возникновением и развитием усталостных трещин на контурах технологических и конструктивных отверстий во внутренних ребрах, внешних стенках и растянутых пластинах.

На рис. 9 представлена подвижная поперечина пресса усилием 100 МН. Результаты расчетов показали, что на контурах отверстий во внутренних ребрах уже возникли трещины, развитие которых может привести к

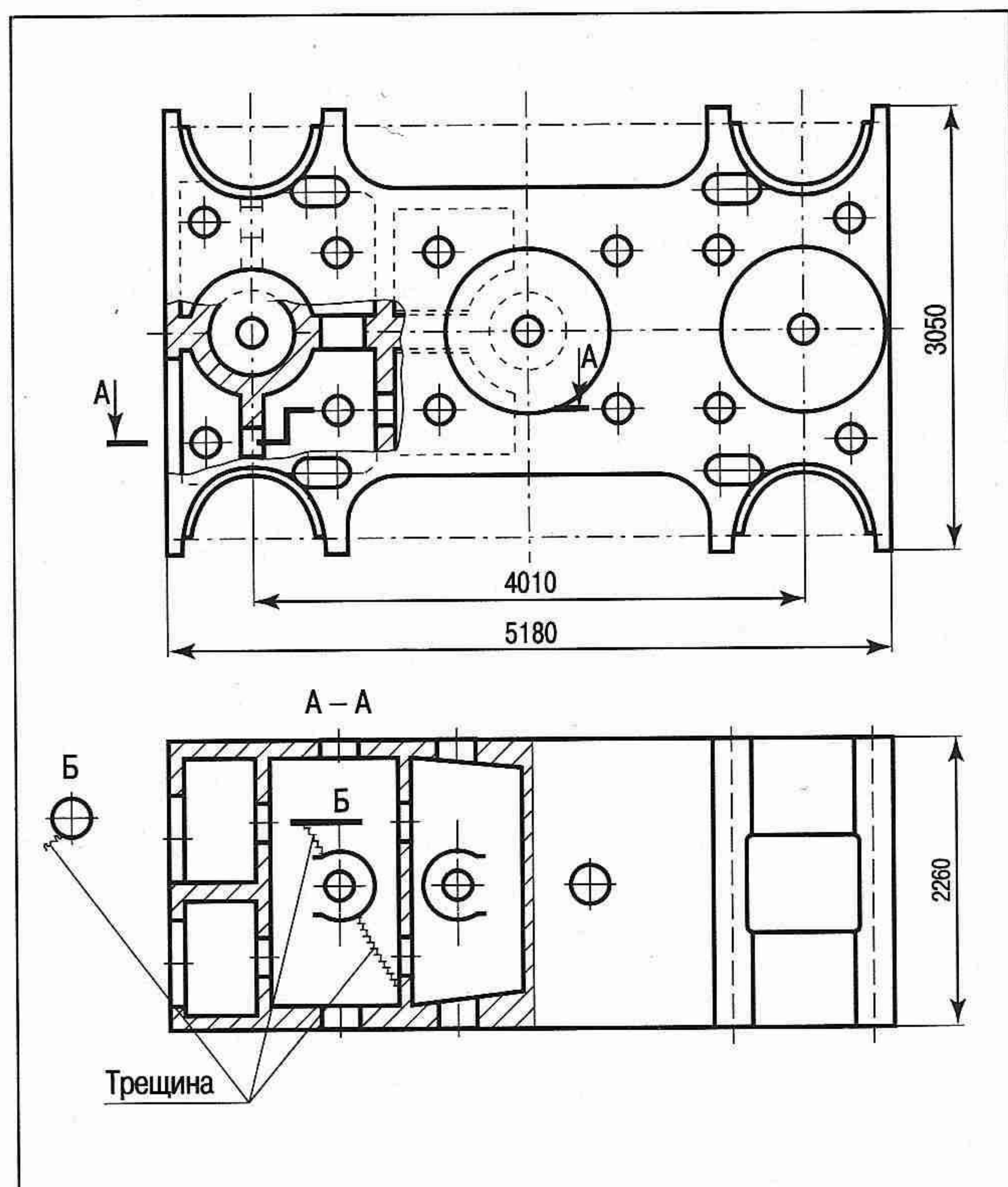


Рис. 9. Подвижная поперечина прессы усилием 100 МН с трещинами во внутренних ребрах

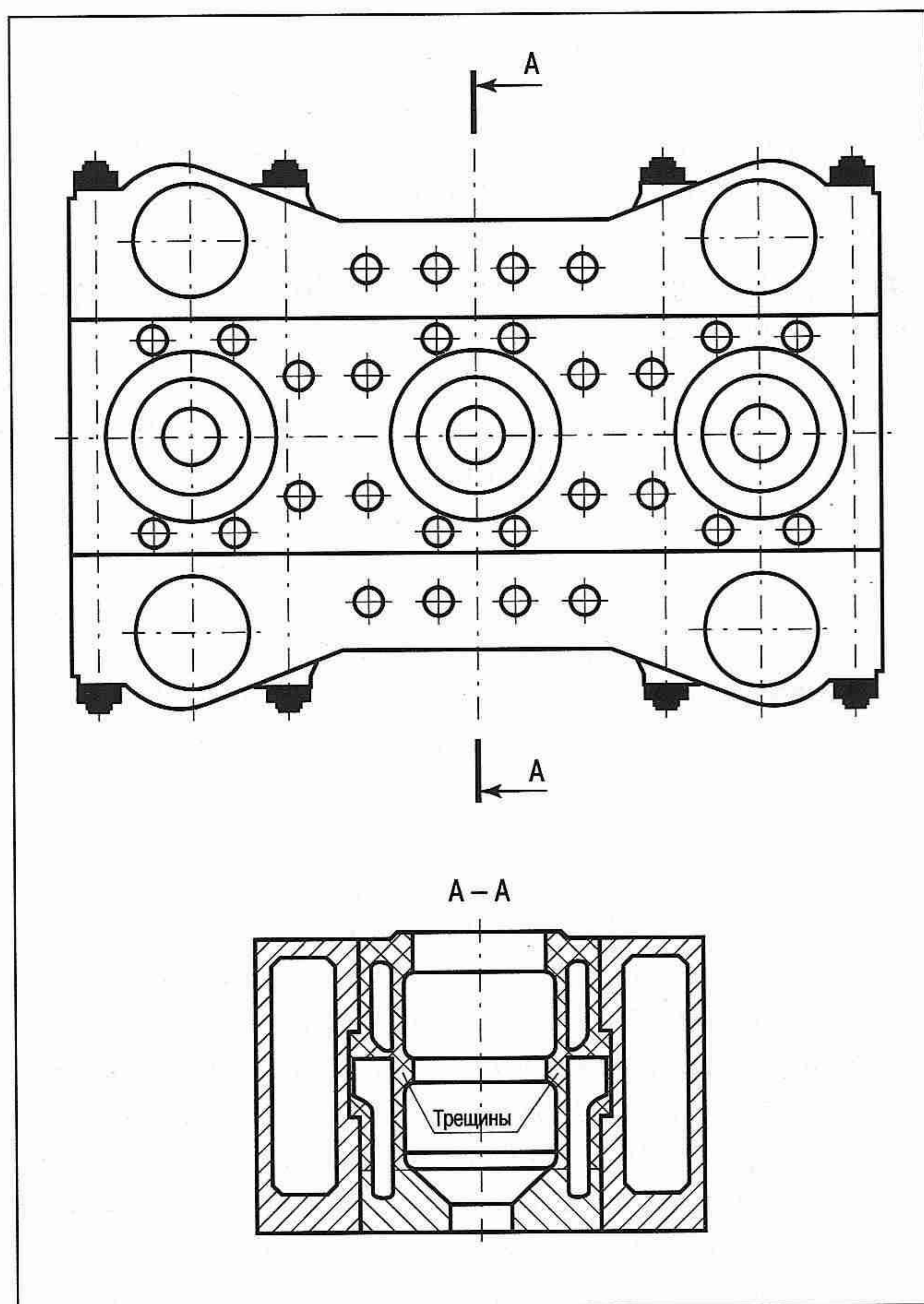


Рис. 10. Подвижная поперечина прессы усилием 150 МН с трещинами в сечении внутренней балки

разрушению поперечины. Однако небольшой диаметр отверстий во внешних стенках не позволял проникнуть во внутренние полости и обследовать состояние контуров отверстий. Для доступа во внутренние полости автогеном были разделаны отверстия во внешних торцевых стенках. В результате были обнаружены трещины большой протяженности.

В ряде случаев поперечины существующих прессов, а также новые, устанавливаемые для замены разрушенных, имеют составную конструкцию. Для таких поперечин прочность и долговечность определяются в значительной степени совместной работой отдельных частей.

На рис. 10 показана подвижная поперечина прессы усилием 150 МН и схема ее разрушения. Поперечина состоит из трех продольных балок коробчатого сечения, стянутых шпильками. Общая масса поперечины 180 т, масса средней балки 95 т. Совместную работу обеспечивают шпоночные выступы, пазы балок и силы трения на плоскостях разреза за счет усилия затяжки стяжных шпилек. До момента обнаружения трещины пресс проработал около 30 лет. Номинальные напряжения в опасном сечении составляют 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 согласованности работы отдельных ее частей, которое произошло за счет разработки сопряженных поверхностей балок поперечины, ослабления и полной потери усилия затяжки стяжных шпилек. При передаче усилия крайних цилиндров только средней балкой номинальные напряжения в ней возрастают вдвое, а максимальные напряжения на контуре отверстия достигают 250 МПа, что значительно выше предела выносливости литой стали. Имеются и другие места возникновения трещин в составных поперечинах, например в зонах угловых переходов шпоночных пазов.

Проведение специальных профилактических мероприятий по предупреждению отказов до возникновения трещин требует меньших затрат, чем восстановление или замена разрушенной поперечины. Среди таких мероприятий можно отметить хорошо разработанные методы упрочнения контуров отверстий, удаление поверхностных слоев с микрповреждениями, заварка отверстий до возникновения трещин на их контурах по специально разработанной методике. Опыт показывает, что профилактические мероприятия можно выполнить во время планово-предупредительных и плановых капитальных ремонтов.

Приведенные выше примеры показывают, что увеличение числа отказов базовых деталей мощных гидравлических прессов с увеличением сроков эксплуатации не связано с физическим износом всего объема металла, его «усталостью». Все отказы вызваны конструктивно-технологическими причинами,

заложенными заводами-изготовителями на стадиях проектирования, изготовления и монтажа агрегатов. Базовые детали после своевременного выявления и устранения первоначальных конструктивно-технологических причин разрушения имеют неограниченную долговечность.

В настоящее время для гидравлических прессов, различающихся конструкцией, величиной усилия и назначением разработаны методы прогнозирования прочностной надежности базовых деталей. На основании результатов проведенных исследований установлены зависимости между физическими причинами отказов, вызванными напряженно-деформированным состоянием узлов и деталей, и прочностными характеристиками материала. Это позволяет решать задачи обеспечения прочностной надежности базовых деталей при увеличении сроков эксплуатации и модернизации мощных гидравлических прессов. Ниже рассмотрены примеры модернизации мощных гидравлических прессов с использованием результатов работ по обеспечению прочностной надежности.

На Выксунском металлургическом заводе (ВМЗ) с 1971 г. эксплуатируются гидравлические прессы усилием 20, 35, 50 и 100 МН в линии производства железнодорожных колес. Выполнен комплекс работ по обеспечению прочностной надежности базовых деталей прессов при увеличении производительности линии производства железнодорожных колес с 450 тыс. шт./год (1971–2002 гг.) до 850 тыс. шт./год (2003–2006 гг.) при сохранении номинальных усилий прессов. Для линии мощных гидравлических прессов показатель 850 тыс. нагружений/год полным усилием является мировым рекордом производительности.

На гидравлическом прессе Челябинского трубопрокатного завода (ЧТПЗ), работающем с 1971 г. в линии формовки нефтегазовых труб диаметром 1020–1220 мм, выполнен комплекс работ по обеспечению прочностной надежности базовых деталей с увеличением усилия пресса окончательной формовки с 200 до 360 МН.

Увеличение силы мощного гидравлического пресса в 1,8 раза при сохранении габаритов и основных базовых деталей осуществлено впервые в мировой практике.

Одним из направлений модернизации является обеспечение дальнейшей длительной безотказной эксплуатации уникального оборудования, не имеющего аналогов в мировой практике. Поэтому термин «модернизация» включает в себя научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, позволяющие продлить безотказную работу уникальных металлургических машин.

На прессе усилием 300 МН, эксплуатирующемся с 1961 г. на Верхнесалдинском металлургическом производственном объединении (ВСМПО-АВИСМА), в

2003 г. была разработана и установлена система управления прочностными и технологическими параметрами. Система обеспечивает оптимальные условия работы колонн по критерию ограничения напряжений, превышающих предел прочности материала, и контролирует параметры технологического процесса.

На прессе усилием 200 МН в ходе модернизации в 2006 г. разработана и установлена система управления прочностными и технологическими параметрами, что обеспечило оптимальные условия работы базовых деталей по критерию ограничения напряжений, превышающих предел прочности материала, и контролируют параметры технологического процесса. После модернизации усилие пресса составило 360 МН.

На основании приведенных выше результатов можно видеть, что разработаны и получили промышленное подтверждение научно-технические основы прогнозирования и обеспечения прочностной надежности уникальных металлургических машин. Своевременное проведение работ по обеспечению прочностной надежности на основе единых для отрасли научно-технических решений позволяет осуществить модернизацию металлургического комплекса России с минимальными затратами и в оптимальные сроки.

Выводы

Все отказы металлургических машин вызваны конструктивно-технологическими причинами, заложенными заводами-изготовителями на стадиях проектирования, изготовления и монтажа оборудования. Базовые детали после выявления и устранения конструктивно-технологических причин разрушения имеют неограниченную долговечность.

Для обеспечения безотказной работы металлургических машин и оборудования разработан и апробирован комплекс технических решений по прогнозированию надежности, предупреждению отказов и восстановлению базовых деталей металлургических машин. Своевременное проведение этих работ дает возможность:

- продлить срок эксплуатации действующего оборудования при сохранении существующих технологических режимов;

- выполнить модернизацию металлургических машин и оборудования, в том числе с увеличением производительности, при сохранении существующих базовых деталей.

Максимальный экономический эффект в минимальные сроки можно получить при включении программы модернизации металлургического комплекса в национальную программу модернизации тяжелых машин и оборудования на основе прогнозирования и обеспечения их прочностной надежности. ЧМ