

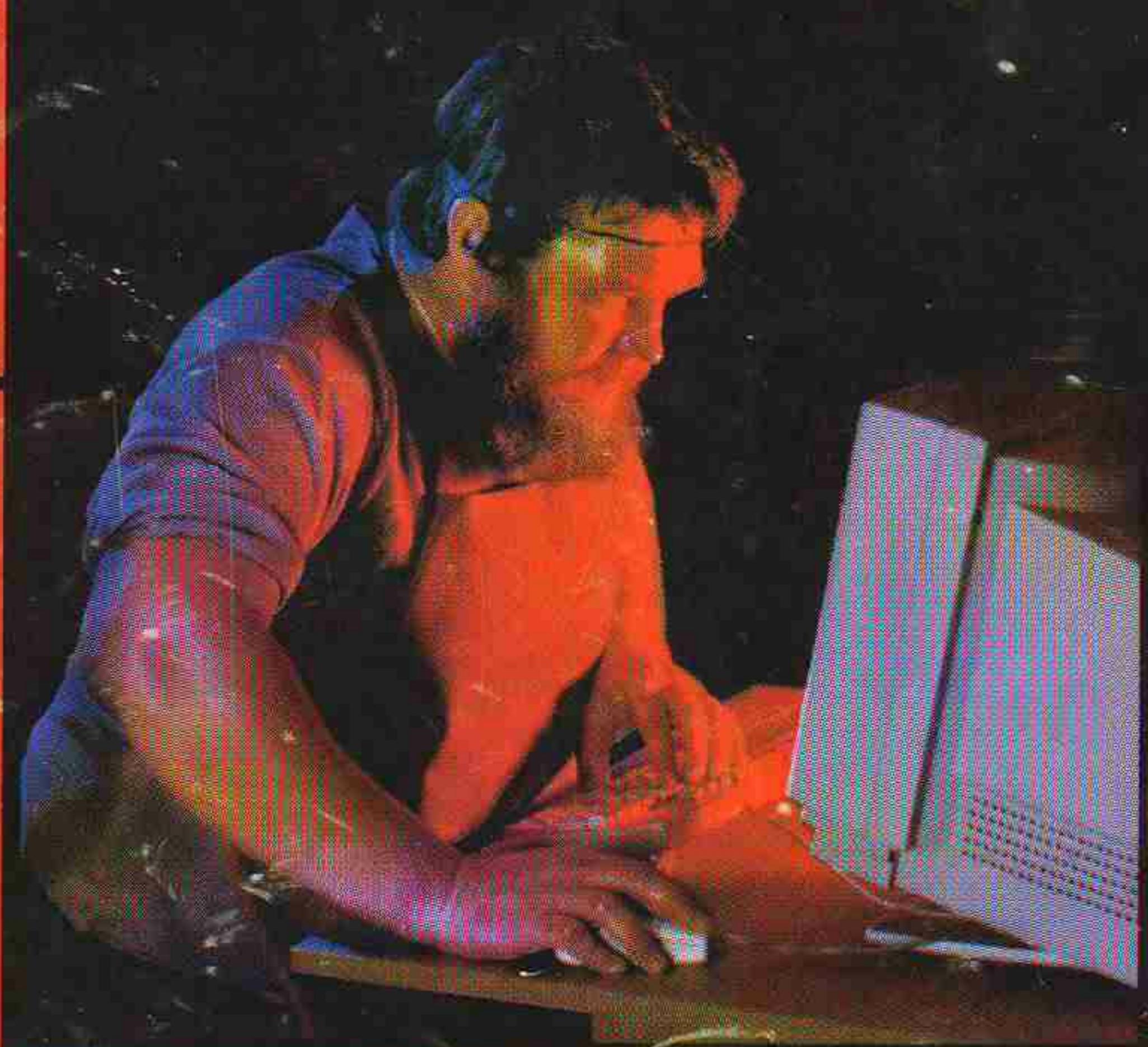
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1959 ГОДА

**КИШОМА****№ 3'04**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

[www.qform3d.com](http://www.qform3d.com)

**QUANTOR<sup>FORM</sup>**  
**QFORM3D**



РАСЧЕТНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЮРО  
 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА И РАСЧЕТ ШТАМПОВ  
 ВЫСОКАЯ ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛЯ САМЫХ СЛОЖНЫХ ПОКОВОК  
 НАДЕЖНЫЙ ИМПОРТ ГЕОМЕТРИИ ИЗ ЛЮБЫХ CAD СИСТЕМ  
 СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

моделирование  
трех переходов  
горячей штамповки

ООО "КвантоФорм", Москва, 117049, п/я 39, тел./факс: (095) 232-26-91, e-mail: info@qform3d.com

УДК 621.979-82.004

И. А. СУРКОВ

## Установление причин и предупреждение разрушений колонн мощных гидравлических прессов

*Рассмотрены случаи разрушения колонн мощных гидравлических прессов. Установлено, что отказы колонн чаще всего происходят из-за недостаточной силы их затяжки в поперечинах.*

*Разработанные способы восстановления колонн широко используются на заводах, эксплуатирующих мощные гидравлические прессы.*

*Cases of destruction of powerful hydraulic presses' columns are considered. It is established, that failures of columns occur mostly because of insufficient force of their tightening in cross-beams. The developed ways of restoration of columns are widely used at the enterprises running powerful hydraulic press.*

В настоящее время в России все мощные гидравлические прессы, поставленные в период до 1979 г., находятся в эксплуатации. Длительный срок службы обуславливает возникновение большого числа отказов, при этом значительное число отказов связано с разрушениями колонн. В табл. 1 приведены параметры колонн, разрушения которых (по нашим данным) произошли в 2000—2003 гг.

Рассмотрим случаи разрушений, приведенные в табл. 1.

1. Пресс, установленный в линии для производства древесно-волокнистых плит. Колонна разрушилась по первому нагруженному витку внешней резьбы. Трещина протяженностью 130 мм и глубиной 30 мм обнаружена методом УЗК за 1 год до разрушения колонны.

2. Штамповочный пресс для изготовления тел вращения. Разрушение четырех колонн в зонах внутренней резьбы со стороны основания пресса (рис. 1, 2).

3. Штамповочный пресс для изготовления тел вращения. Разрушение внешней резьбы одной из колонн под основанием пресса. На одной половине колонны резьба полностью отсутствует (рис. 3), на второй половине колонны срезано 40% резьбы

(указанные половины колонн сопрягаются с соответствующими половинами разъемной гайки).

4. Штамповочный пресс для объемной штамповки. Разрушение витков резьбы по высоте гайки (рис. 4).

5. Штамповочный пресс для объемной штамповки. На одной из колонн полностью отсутствует резьба под внутренней гайкой в зоне архитрава (рис. 5).

6. Прессы для окончательной формовки заготовок труб большого диаметра. Периодические отказы колонн из-за разрушений по трещинам усталости, возникающим по виткам резьбы, а также из-за повреждений резьбы (сколы, коррозия, срез витков).

Если увеличение числа отказов колонн с увеличением срока службы прессов считать закономерным и, следовательно, неизбежным процессом, обусловленным накоплением усталостных повреждений, то для обеспечения работоспособности пресса необходимо установление ресурса колонн с целью их своевременной замены новыми.

Однако следует отметить, что для колонн мощных гидравлических прессов выполнены весьма обстоятельные расчеты и проведены эксперимен-

Таблица 1

№ п/п	Сила прес-са, МН	Число колонн в прессе	Диаметр ко-лонны, мм	Номинальные напряжения в колонне, МПа	Радиус $r$ впадины, мм	Шаг $s$ резь-бы, мм	$r/s$
1	53	8	350	67	2	16	0,125
2	70	4	630	56	2	24	0,091
3	100	4	830	46	2	16	0,125
4	100	4	830	46	2	16	0,125
5	100	4	800	49	2,4	14	0,174
6	200	12	575	64	2,5	20	0,125

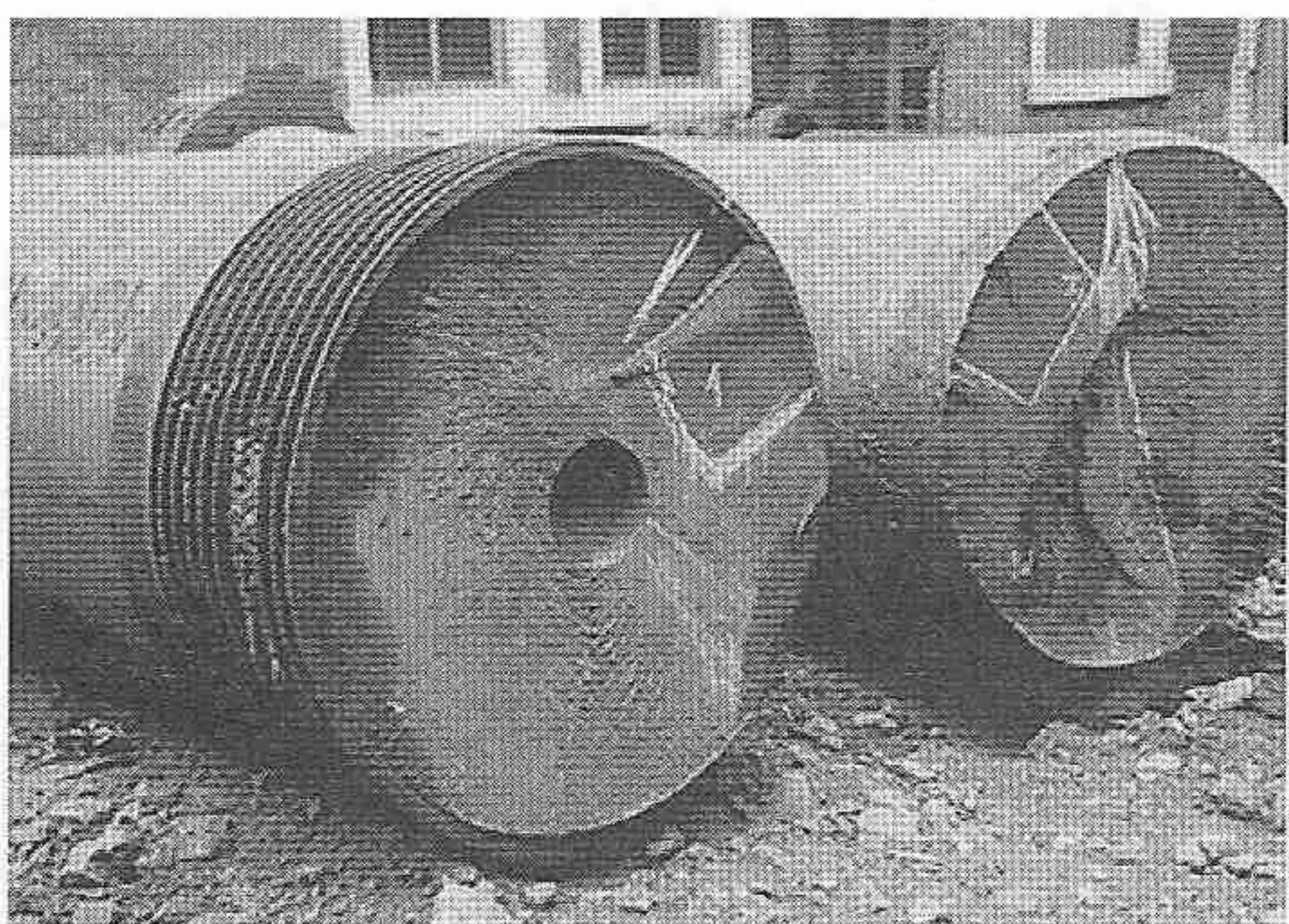


Рис. 1. Поверхность разрушенных колонн пресса силой 70 МН



Рис. 2. Срезанный виток резьбы на разрушенной колонне пресса силой 70 МН

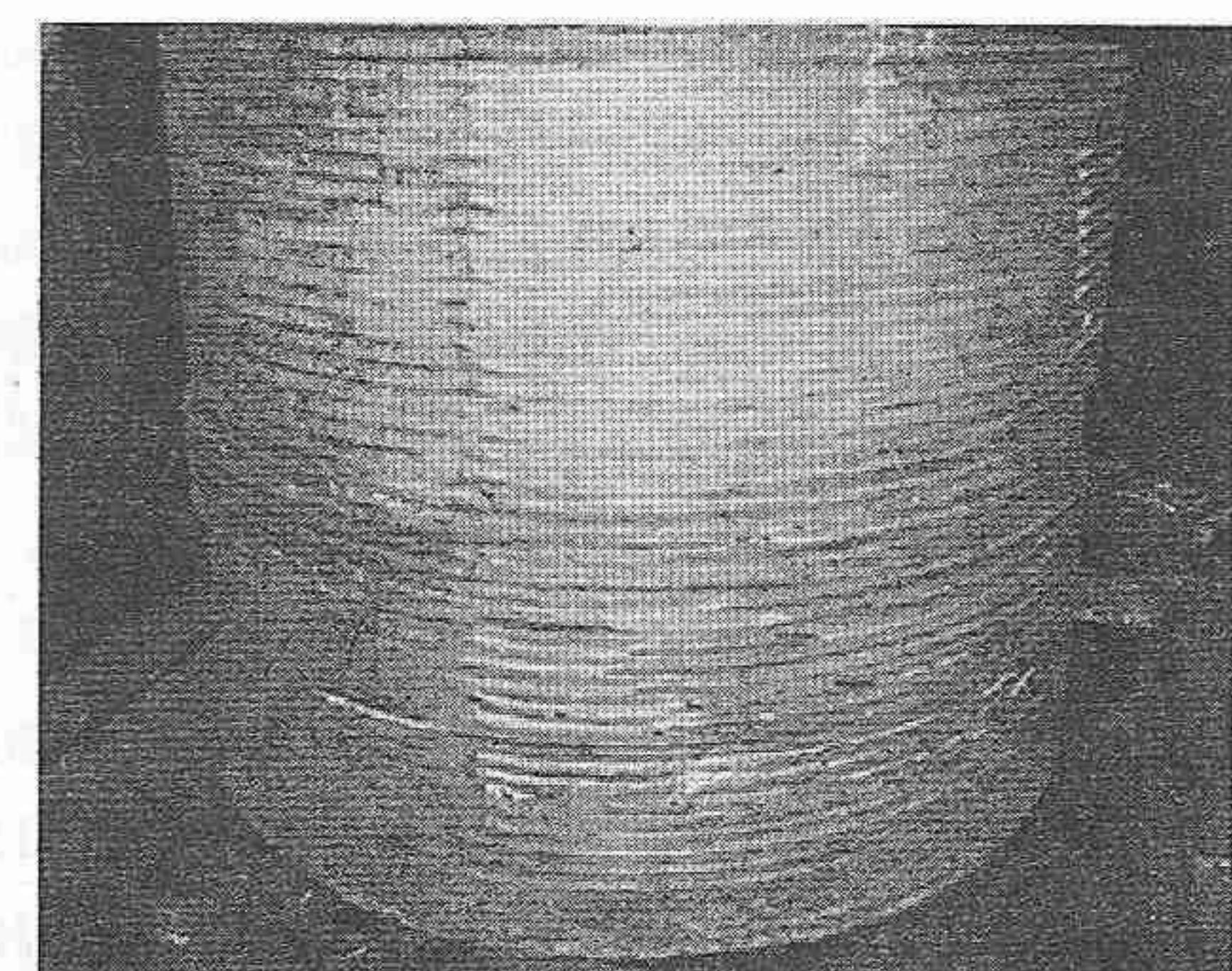


Рис. 3. Разрушения внешней резьбы колонны под основанием пресса силой 100 МН

тальные исследования механических нагрузок, напряжений и свойств материала, получено решение задачи о напряженно-деформированном состоянии и прочности колонн с учетом конструктивных и технологических факторов [1–3]. Результаты этих работ показывают, что для колонн нет ограничений по времени эксплуатации. Ни один из заводов-производителей при изготовлении пресса не назначает ресурс на колонны, тем самым подтверждая, что срок службы колонн не ограничен. Отказы могут быть связаны со скрытыми ошибками при проектировании, изготовлении и монтаже, которые проявляются в процессе длительной эксплуатации. Поэтому определение причин отказов колонн — это первый этап работ по сокращению простоеов прессов, уменьшению расходов на ремонт и запасные части, повышению работоспособности пресса.

В технической литературе не приведены анализ отказов колонн и количественные зависимости, связывающие причину разрушения с длительностью работы колонны, напряженным состоянием резьбы и механическими свойствами материала при циклических нагрузках. Так, в работе [1] отмечены разрушения четырех колонн пресса силой 100 МН фирмы "Места" (США), четырех колонн пресса силой 70 МН УЗТМ, четырех колонн пресса силой 12 МН фирмы "Вагнер" (Германия), двух колонн пресса силой 30 МН фирмы "Гидравлик" (Англия). Указано, что "...даже с учетом эксцентрикитета напряжения остаются в несколько раз ниже предела текучести и предела прочности материала колонны. Несмотря на это, разрушения колонн все же имеют место. Колонны разрушаются всегда по резьбе и, как правило, в нижних внутренних гайках, после чего отвернуть гайки почти невозможно. Изломы колонн имеют ясно выраженный усталостный характер; имеются зона образования и развития усталостной трещины и зона статического излома".

Только в работе [4] указано, что разрушение колонн горизонтальных прессов номинальными

силами 120 и 200 МН производства УЗТМ вызваны металлургическими дефектами в центральной части сечения вне зоны резьбы.

В заводских актах, подтверждающих факты разрушения колонн, также отмечается лишь внешний вид разрушения: "срезана резьба", "скол резьбы", "излом колонны имеет усталостный характер". В большинстве случаев разрушения происходят в "здоровом" металле и не связаны с технологическим браком изготовления.

Для установления причин отказов колонн необходимо определить количественные зависимости, связывающие напряженное состояние резьбы с режимами эксплуатации и прочностью мате-

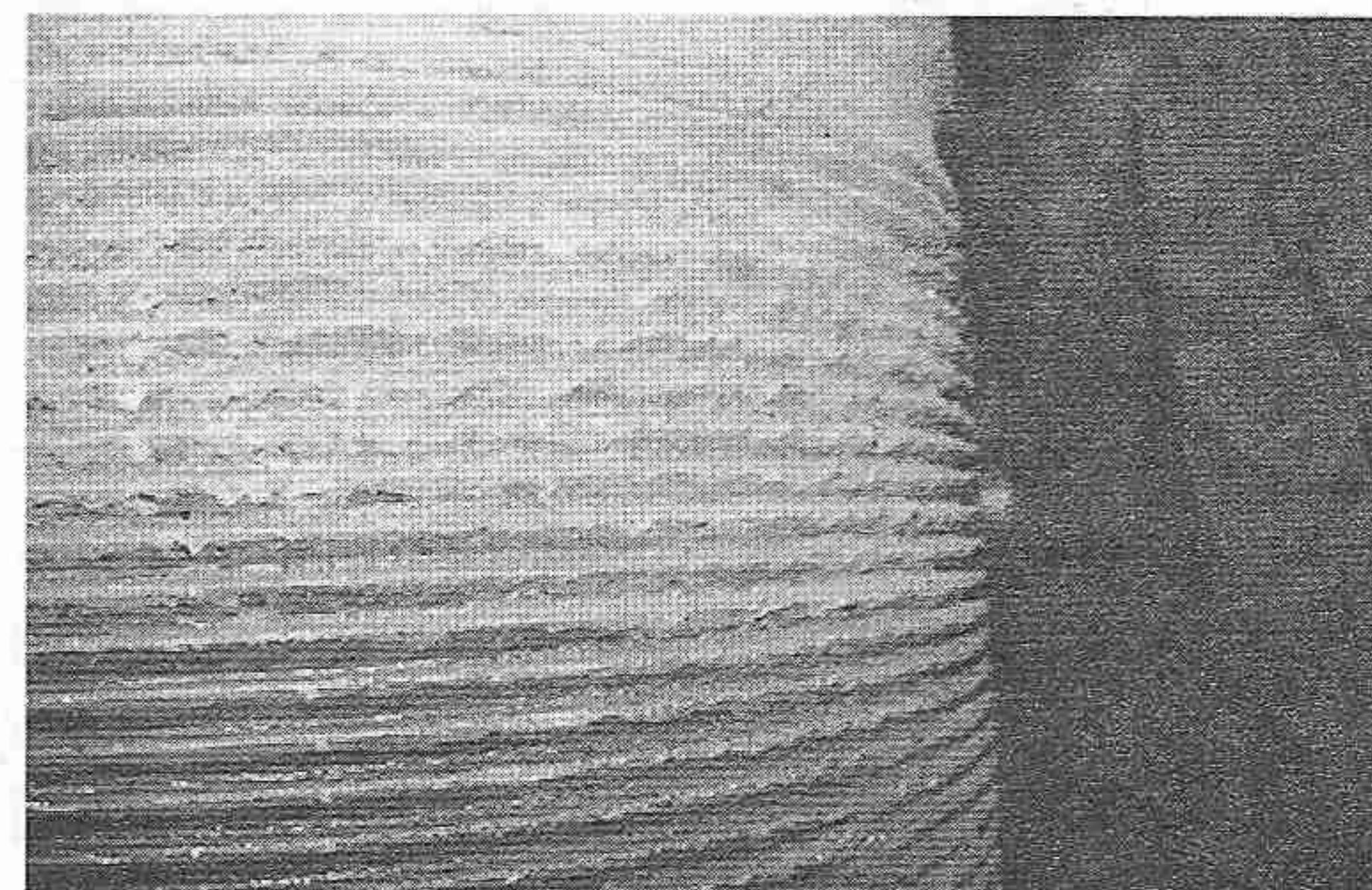


Рис. 4. Частично корродированная внешняя резьба колонны под основанием пресса силой 100 МН

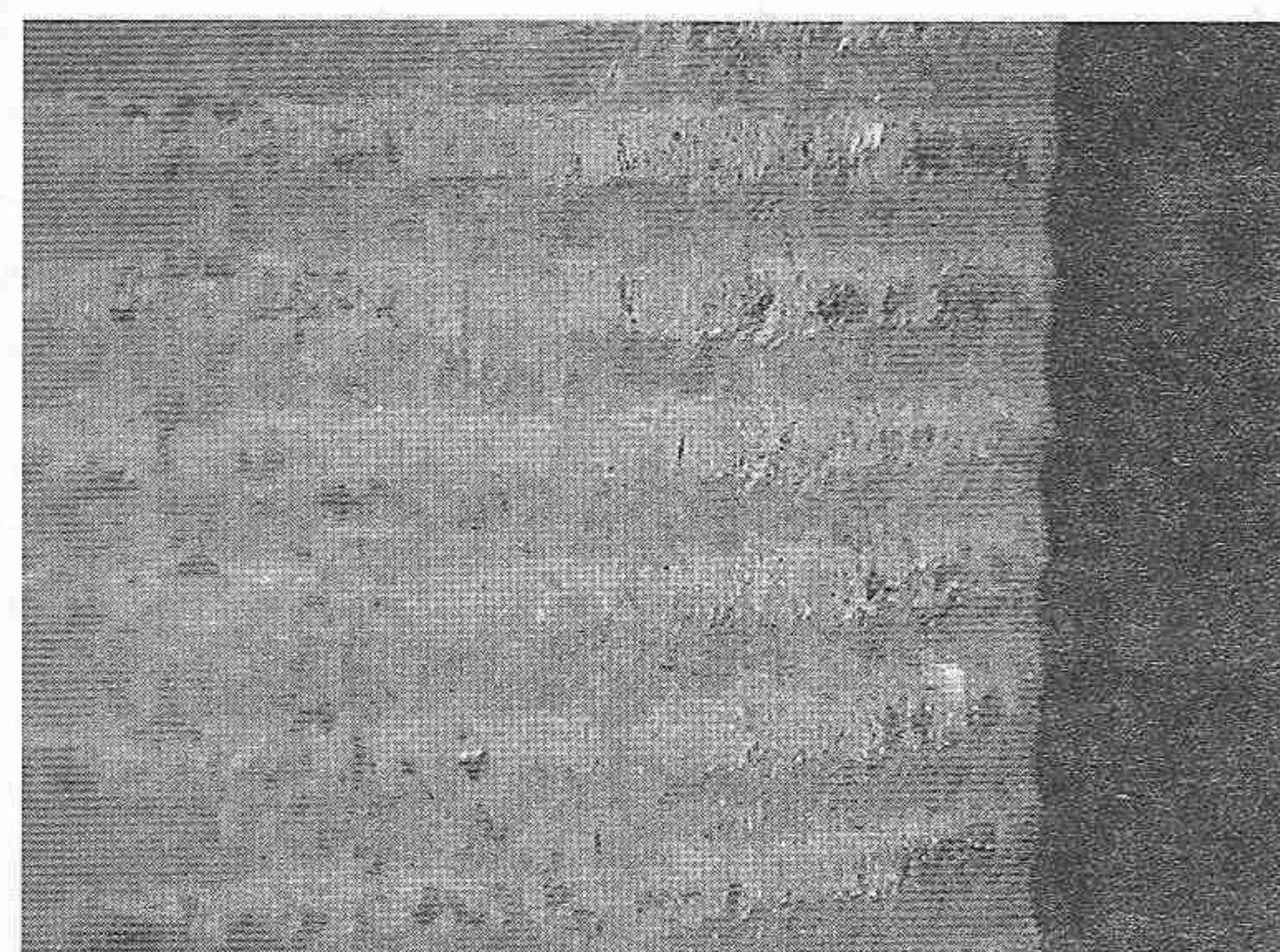


Рис. 5. Полностью корродированная внутренняя резьба колонны под архитравом пресса силой 100 МН

риала колонны. Самое большое количество колонн было заменено на прессах силой 200 МН (табл. 1), поэтому для установления причин отказов оценим прочность колонн этих прессов. Колонны на прессах силой 200 МН имеют резьбу УП600×20.

Рассмотрим работу колонны в проектном режиме, который обеспечивает сохранение остаточной силы затяжки колонны в поперечине и нераскрытие стыков между внутренней гайкой колонны и поперечиной при рабочем нагружении пресса. В этом случае резьба колонны работает по асимметричному циклу. В соответствии с общепринятой схемой работы узла колонна—гайки—поперечина во внешней гайке к постоянным напряжениям от силы затяжки добавляются пульсирующие напряжения от рабочей нагрузки. В витках резьбы колонны во внутренней гайке постоянные напряжения от силы затяжки уменьшаются на величину пульсирующих напряжений от рабочей нагрузки. При такой схеме работы прочность колонны определяет более напряженная резьба во внешней гайке.

Материал колонн — кованая сталь 40, имеющая следующие механические характеристики: предел прочности  $\sigma_b = 470$  МПа, предел текучести  $\sigma_t = 245$  МПа, предел выносливости при симметричном цикле  $\sigma_{-1} = 230$  МПа, чувствительность к асимметрии цикла  $\phi_\sigma = 0,15$ . Сила, действующая на колонну, изменяется по пульсирующему циклу и составляет  $P = 16,67$  МН. Коэффициент затяжки  $K$ , представляющий собой отношение силы раскрытия стыка к силе  $P$ , принят равным 2. С учетом  $K = 2$  и соотношений геометрических параметров колонны и колонного стакана поперечины определены сила затяжки резьбового соединения  $T = 2,167 \cdot 10^4$  кН, амплитуда цикла  $\sigma_a = 11,5$  МПа и среднее напряжение цикла  $\sigma_{cp} = 97,1$  МПа.

Теоретический коэффициент концентрации напряжений для рассматриваемой резьбы УП600×20 получен по данным работы [1], где приведены результаты испытаний методом фотоупругости моделей резьбы различных типов. Геометрические параметры моделей резьбы пересчитаны на параметры резьбы натурной колонны (с шагом резьбы 20 мм). Наиболее близкой (по геометрическим параметрам) к резьбе УП600×20 оказалась резьба DIN-2781 (табл. 2). Эти резьбы имеют одинаковые шаги и радиусы впадин и практически одинаковые отношения диаметров к шагу. Это означает, что резьбы DIN-2781 и УП600×24 геометрически подобны, поэтому величины теоретических коэффициентов концентрации напряжений для них одинаковы. Согласно работе [1] для резьбы DIN-2781 теоретический коэффициент концен-

трации напряжений  $\alpha_\sigma = 8,94$ . Эту величину используем в дальнейших расчетах для резьбы УП600×24.

В соответствии со статической теорией подобия усталостного разрушения [5] определим запас прочности  $n$  при асимметричном цикле:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a K_{\sigma D} + \phi \sigma_m}, \quad (1)$$

$$\text{где } K_{\sigma D} = \left( \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} + 1/\beta_\sigma - 1 \right);$$

$$\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} = \frac{\alpha_\sigma}{F\left(\frac{L}{G}, v_\sigma\right)};$$

$$F\left(\frac{L}{G}, v_\sigma\right) = \varepsilon_\infty + (1 - \varepsilon_\infty) \left( \frac{1}{88,3} \frac{L}{G} \right)^{-v_\sigma};$$

$\frac{L}{G}$  — критерий подобия усталостного разрушения;

$L$  — длина окружности по внутреннему диаметру резьбы,  $L = \pi d = 3,14 \cdot 575 = 1806$  мм;  $G$  — относительный градиент нормальных напряжений в зоне их максимума,  $G = \frac{2,3(1+\phi)}{\rho}$ ,  $\phi = \frac{1}{4\sqrt{t}/(\rho+2)}$

$t$  — высота резьбы,  $t = 12,5$  мм;  $\rho$  — радиус сопряжения,  $\rho = 2,5$  мм;  $v_\sigma$  — постоянная, характеризующая чувствительность материала к концентрации напряжений и размерам сечений, для углеродистых сталей  $v_\sigma = 0,1$ ;  $\varepsilon_\infty$  — предельное значение, к которому стремится  $\varepsilon_\sigma$  при  $d \rightarrow \infty$ , для углеродистых сталей  $\varepsilon_\infty = 0,5$ ;  $\beta_\sigma$  — коэффициент обработки поверхности,  $\beta_\sigma = \beta_t \beta_{\text{кор}}$ ;  $\beta_t$  — коэффициент чистового точения поверхности детали,  $\beta_t = 1$ ;  $\beta_{\text{кор}}$  — коэффициент коррозии,  $\beta_{\text{кор}} = 0,8$ .

После подстановки всех данных получим  $n = 1,85$ . Такой запас достаточен для обеспечения неограниченного срока службы колонны при работе узла в проектном режиме. Отметим, что под проектным режимом понимается отсутствие раскрытия стыков между гайками колонн и поперечинами с обеспечением запаса по силе затяжки при полной рабочей нагрузке пресса. Проектный режим предполагает также отсутствие коррозии,

Таблица 2

Резьба	$D$ , мм	$s$ , мм	$r$	$r/s$	$D/s$
DIN-2781	583	20	2,499	0,1249	29,15
УП600×24	600	20	2,5	0,125	30

так как при закрытых стыках агрессивная среда не проникает в резьбовое пространство.

Однако в процессе работы из-за недостаточной силы предварительной затяжки может произойти раскрытие стыков между гайками и поперечинами. Возникающие большие зазоры (порядка десятков миллиметров) влияют на геометрию рамы пресса и ухудшают качество штампемых изделий. В этом случае производят подтяжку гаек, обычно без термозатяжки и без какого-либо контроля силы затяжки. Раскрытия стыков, не влияющие на технологию, в большинстве случаев остаются незамеченными. Кроме того, многие инженерно-технические работники считают, что предварительная затяжка колонн снижает их прочность, так как создает дополнительную нагрузку на резьбу колонн. Рассмотрим в связи с этим, как меняется прочность колонн даже при небольших зазорах между гайками колонн и поперечинами.

При раскрытом стыке между внутренней гайкой колонны и поперечиной вся сила  $P$  колонны передается на ее внешнюю резьбовую часть, а резьба работает по пульсирующему циклу. Номинальные напряжения во впадине первого витка колонны изменяются от  $\sigma_{\min} = 0$  до  $\sigma_{\max} = P/F = 63,5 \text{ МПа}$ .

Для определения запаса прочности при пульсирующем цикле используем формулу

$$n = \sigma_{-1}/\sigma_{\max} K_{\sigma D}$$

Для рассматриваемой колонны  $n = 0,38$ , что меньше 1, поэтому при наличии зазоров между внутренними гайками колонн и поперечинами неизбежно возникновение усталостной трещины на радиусе закругления впадины резьбы и разрушение колонны.

В результате расчетов на усталость для колонн других прессов (см. табл. 1) получены аналогичные результаты. Наличие силовой затяжки колонн в поперечинах, создающей необходимую плотность стыков при рабочем нагружении, обеспечивает неограниченный срок службы колонн. При отсутствии затяжки и раскрытых стыках между гайками колонн и поперечинами  $n \leq 1$ , что приводит к неизбежному разрушению колонн в процессе длительной эксплуатации. Аналогичные результаты дало визуальное обследование колонн этих прессов. Стыки между гайками колонн и поперечинами в одних случаях были полностью раскрыты, в других случаях раскрывались при рабочем нагружении.

Следует отметить, что при работе колонн без силовой затяжки в поперечинах ухудшаются технологические характеристики пресса и происхо-

дит усталостное разрушение колонн. Кроме того, зазоры между гайками и поперечинами создают условия для возникновения динамических нагрузок и проникновения агрессивной среды. Поэтому еще до возникновения трещин усталости в результате совместного действия коррозии, ударных нагрузок и фреттинг-износа резьба колонн может быть частично разрушена (рис. 4) или полностью уничтожена (рис. 5).

Таким образом, отказы колонн не связаны с накоплением усталостных повреждений, а вызваны нарушениями проектных режимов эксплуатации. Эти нарушения заключаются в том, что предварительная сила затяжки колонн в поперечинах не обеспечивает совместной работы колонного стакана поперечины и колонны при рабочем нагружении пресса. Причина отсутствия или ослабления силы затяжки колонн в поперечинах будут рассмотрены в следующих сообщениях.

**Выводы.** 1. Отказы колонн мощных гидравлических прессов вызваны, в большинстве случаев, недостаточной силой затяжки колонн в поперечинах. Для обеспечения работоспособности пресса следует определить фактическое состояние колонн и восстановить необходимую силу затяжки.

2. Способы восстановления силы затяжки колонн разработаны в ООО "НАДЕЖНОСТЬ ПЛЮС" и широко используются на заводах, эксплуатирующих мощные гидравлические прессы. Кроме того, разработаны и апробированы методы диагностики состояния колонн, технические решения для восстановления колонн с разрушенной резьбой, а также способы восстановления колонн, оборванных по виткам резьбы.

### Список литературы

1. Артюхов В. П. Изыскание оптимального профиля резьбы тяжелонагруженных соединений для конструкций мощных гидравлических прессов и других металлоургических машин. Дис. ... канд. техн. наук. М., 1963. 135 с.
2. Розанов Б. В., Гольман Л. Д., Щербаков Р. Д. и др. К расчетам колонн гидравлических прессов // Тр. ЦНИИТмаша, 1959. № 3. С. 49–77.
3. Гохберг М. М., Пылайкин П. А., Юшкевич В. Н. Усталостная прочность сталей для прессов // Производство крупных машин. Вып. XXI. Гидравлические прессы. М.: Машиностроение, 1971. С. 10–34.
4. Пылайкин П. А. Анализ разрушений базовых деталей мощных гидравлических прессов // Кузнечно-штамповочное производство. 1966. № 3. С. 21–27.
5. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.