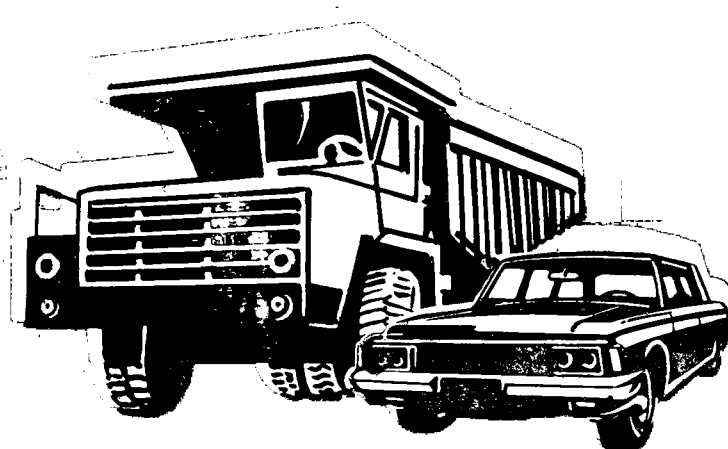


А

**АВТОМОБИЛЬНАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

1982

4



СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- А. Д. Молокович** — Снижение объема работ по обслуживанию оборудования — резерв роста производительности труда и эффективности производства . . . 1

ДВИГАТЕЛИ

- Е. В. Шатров, В. М. Кузнецов, В. Н. Вербецкий, А. Н. Удовенко** — Рабочий процесс гибридного аккумулятора водорода при использовании тепла отработавших газов двигателя . . . 4
- Ю. А. Белов** — О причинах разрушения некоторых деталей ТНВД . . . 6
- К. П. Алексеев, Б. С. Курчман, А. А. Нигин, Е. Г. Урванцев, С. И. Цветков** — Цельнолитые колеса турбин для нагнетателей мощных дизелей . . . 7
- М. А. Литинский, В. Ф. Кокоринов, В. Л. Равич** — Измерение давлений при испытаниях двигателей . . . 9

АВТОМОБИЛИ

- В. М. Семенов, Е. А. Зельцер, А. А. Фаденков** — Выбор жесткости подвесок автотопоездов-лесовозов . . . 12
- Ю. М. Винокуров** — О полной массе прицепа к легковому автомобилю . . . 13
- С. Н. Иванов, И. С. Лунев, Ю. К. Есеновский-Лашков** — Конструкции легких карданных валов и особенности их производства . . . 14
- Д. С. Еленевский, И. И. Ружинский, Р. С. Оболенский, Н. И. Плутенко, Н. М. Чижова, Ю. А. Роцин** — Вибродиагностика редуктора заднего моста автомобилей ВАЗ . . . 16
- Л. Л. Гинцбург** — Управляемость автомобиля с задними управляемыми колесами . . . 18
- М. А. Корнилов** — Задний борт кузова автомобиля-самосвала ГАЗ-САЗ-53Б . . . 20
- С. И. Ломака, В. В. Таболин, И. Ф. Бобровник, Е. М. Гецович** — Противоблокировочная система длиннобазного трехосного автомобиля . . . 21

ТЕХНОЛОГИЯ

- А. В. Бутузов** — Основные направления развития технологии автомобилестроения в XI пятилетке . . . 22
- В. М. Смелянский, В. Ю. Блюменштейн** — Качество поверхностного слоя деталей после обработки размерным совмещенным обкатыванием . . . 25
- В. Н. Корнух** — Регулятор цикла сварки . . . 27
- В. И. Астащенко, Н. П. Калинина, Н. М. Рудницкий, С. Я. Устиловский** — Трецинообразование при закалке в водных растворах полимеров . . . 28
- С. В. Загуляева, В. С. Потанина, В. В. Скотников, В. В. Красиков** — Влияние исходной структуры на рост зерна аустенита в коленчатых валах из стали 50Г-СШ . . . 30
- Б. Б. Бобович, А. М. Федоров, В. И. Скворцов, А. Д. Шуляк, Т. П. Лапшина** — Рифленый поливинилхлоридный линолеум для пассажирского автотранспорта . . . 31

ИНФОРМАЦИЯ

- На ВДНХ СССР
- В. Б. Паутова** — Они награждены медалями ВДНХ . . . 32
- А. Н. Саверина** — Выставка «Горьковский автозавод — передовое предприятие автомобильной промышленности» . . . 33
- Станки и оборудование для нужд отрасли
- А. З. Бродский, В. Ф. Ржевский** — Автоматы, полуавтоматы, сварочные машины . . . 34
- К. А. Исаев, А. Ф. Титова** — Тара для пакетной транспортировки автомобильных узлов . . . 36
- К. М. Сех** — Струйные газогорелочные устройства сушильных камер . . . 36
- Новости автомобилестроения за рубежом
- Н. Ю. Неклюдов** — Новый экономичный легковой автомобиль особо малого класса «Метро» . . . 37
- В. А. Петров, Е. М. Кузнецов** — Жидкостные подогреватели DBW2010 и DBW2020 фирмы Вебасто . . . 38

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Б. А. Дидусев, Э. В. Ротенберг** — Рецензия на книгу Р. В. Кугеля «Надежность машин массового производства». М.: Машиностроение, 1981 . . . 39
- Рефераты депони, рецензий статей . . . 40

Главный редактор **А. П. БОРЗУНОВ**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. В. Балабин, В. М. Бусаров, А. В. Бутузов, А. М. Васильев, М. А. Григорьев, Ю. А. Ечевистов, К. П. Иванов, Б. Г. Карнаузов, А. С. Кобзев, В. А. Костров, А. М. Кригер, А. М. Кузнецов, Ю. А. Купеев, И. С. Лунев, А. А. Невелев, И. В. Орлов, Л. Н. Островцев, А. Д. Просвянин, З. Л. Сироткин, Г. А. Смирнов, В. В. Снегрис, С. М. Степашкин, А. П. Титков, Е. А. Устинов, В. А. Фаустов, В. Н. Филимонов (зам. гл. редактора), **Б. М. Фиттерман, Н. С. Ханин, С. Б. Чистозвонов, М. М. Шурыгин**

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Бологодская областная универсальная научная библиотека

Рабочий процесс гидридного аккумулятора водорода при использовании тепла отработавших газов двигателя

Канд. техн. наук Е. В. ШАТРОВ, В. М. КУЗНЕЦОВ, канд. хим. наук В. Н. ВЕРБЕЦКИЙ, А. Н. УДОВЕНКО
НАМИ, МГУ им. М. В. Ломоносова, ИАЭ им. И. В. Курчатова

«Автомобильная промышленность», № 4, 1982 г.

В РЯДЕ СТРАН, в том числе и в Советском Союзе, на многих автомобилях в качестве топлива уже используют жидкий углеводородный газ; кое-где на смену бензина пришел сжатый природный газ — метан; ведутся широкие эксплуатационные испытания легковых и грузовых автомобилей, работающих на бензоспиртовых смесях и чистом спирте. Однако работы по отысканию новых видов моторных топлив, способных частично или полностью заменить топлива нефтяного происхождения, продолжают. В частности, в качестве топлива будущего все чаще называют водород, хотя отсутствие экономически оправданных систем хранения этого вида топлива на борту транспортных средств является одной из проблем, сдерживающих его применение на автомобильном транспорте.

В настоящее время существуют три способа хранения водорода: в газообразном состоянии, в жидком виде и в интерметаллидах. Из них все большее признание находит последний, так как уже созданы интерметаллиды, способные аккумулировать значительное количество водорода в сравнительно небольших объемах. Правда, здесь еще есть свои трудности. Например, чтобы обеспечить двигатель необходимым количеством водорода на всех режимах его работы, необходима 100%-ная отдача водорода из бака. Для этого нужно располагать достаточно гибкой, эффективной системой регулирования теплового состояния аккумулятора. При разработке системы необходимо также решать вопросы, связанные с удалением конденсата, который появляется в больших количествах при обогреве интерметаллида с водородом, герметизацией проточной части гидридного бака, пожарной безопасностью, сокращением времени заправки бака и т. д.

Рассмотрим физическую сторону некоторых явлений, влияющих на технико-эксплуатационные характеристики металлгидридной системы, на примере реальной отечественной конструкции.

Опытный образец металлгидридного бака (рис. 1) был разработан специалистами НАМИ, МГУ им. М. В. Ломоносова и ИАЭ им. И. В. Курчатова. Из рисунка видно, что бак представляет собой набор наполненных интерметаллидом трубок, которые с одной стороны соединены между собой полостью А, а с другой — заглушены. Трубки размещены в корпусе прямоугольного сечения, выполняющем роль защитного кожуха и служащим магистралью для отработавших газов. Масса интерметаллида, находящегося в баке, 50 кг, а полная масса бака 67 кг.

Подготовка аккумулятора водорода к работе требует активации интерметаллического соединения, т. е. многократ-

ной заправки его водородом, и дегидрирования. Эти операции проводили на специальной установке (рис. 2). При зарядке водородом бак охлаждается воздухом или водой, при отборе водорода — обогревается отработавшими газами. Температурное состояние гидридного аккумулятора оценивали при помощи термопар, установленных в потоке отработавших газов на входе и выходе из аккумулятора, внутри двух трубок с гидридом (в начале, середине и конце), а также между стенками кожуха и трубок.

Эксперимент показал, что 100%-ная зарядка бака водородом (0,75 кг H_2 , или 1,5% от массы гидрида) стала возможной лишь после шестого цикла (в первом цикле гидрид принял всего 0,25 кг H_2) и что количество и температура отработавших газов, проходящих через металлгидридный бак, зависит от нагрузки двигателя, его скоростного режима, а также от величины регулируемого проходного сечения трубопровода, отводящего эти газы из бака. Для автобуса РАФ при движении его в городских условиях (ездовой цикл по ОСТ 37.001.054—74, рис. 3,а) на смесях бензина с водородом оптимального состава, т. е. обеспечивающих наивысший КПД и минимум токсичности, средний расход водорода в среднем составил 1000 см³/с (5,2 г/мин), а максимальный (разгон на второй и третьей передачах) — доходил до 2100 см³/с.

Скорость выделения водорода из гидрида определяется температурой отработавших газов, теплотехническими характеристиками материала и конструкцией бака. Следовательно, прежде чем оценить пригодность данного бака для конкретного автомобиля, необходимо знать, хватит ли тепла отработавших газов для нагрева гидрида до требуемой температуры.

На рис. 3,б показано изменение температуры отработавших газов в выпускной трубе двигателя автобуса РАФ. Из него видно, что эта температура непосредственно у выпускного коллектора двигателя (кривая 1) колеблется в пределах 590—690 К, а на расстоянии 1 м от него (кривая 2) — от 490 до 610 К.

Теплосодержание отработавших газов определяется не только их температурой, но и количеством содержащегося в них водяного пара. Например, если двигатель автобуса работает

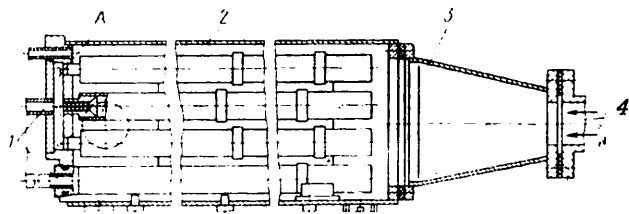


Рис. 1. Продольный и поперечный разрезы бака (аккумулятора водорода):

1 — трубки для выхода водорода; 2 — корпус; 3 — диффузор; 4 — трубопровод для подвода отработавших газов двигателя; 5 — трубки с гидридом; 6 — трубопровод для отвода отработавших газов

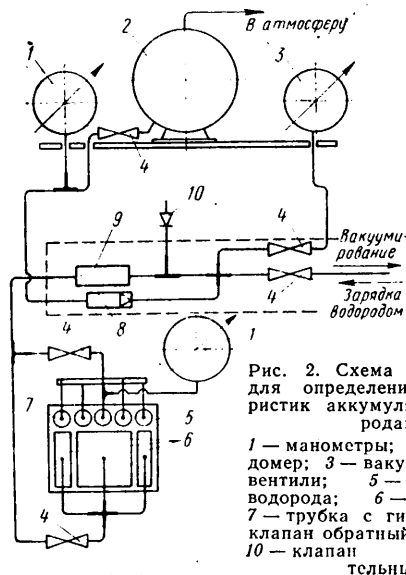


Рис. 2. Схема установки для определения характеристик аккумулятора водорода:

1 — манометры; 2 — расходомер; 3 — вакуумметр; 4 — вентили; 5 — аккумулятор водорода; 6 — коллекторы; 7 — трубка с гидридом; 8 — клапан обратный; 9 — фильтр; 10 — клапан предохранительный

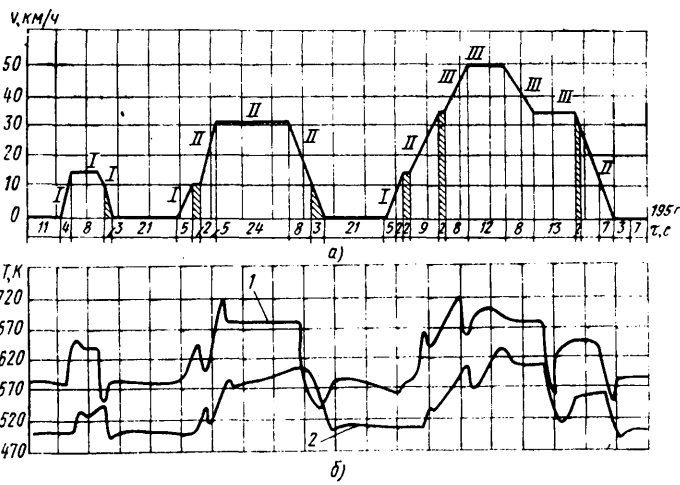


Рис. 3. Ездовой цикл, имитирующий условия эксплуатации автомобиля в городе и соответствующие ему изменения температуры отработавших газов на выходе из двигателя (кривая 1) и на расстоянии 1 м (кривая 2) от него (I, II, III — передачи)

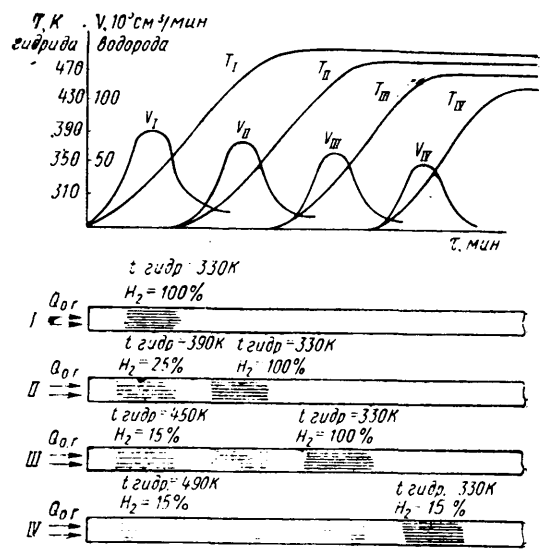


Рис. 4. Изменение скорости выделения водорода и температуры гидрида по времени (I—IV) на отдельных участках трубки аккумулятора при нагревании ее в потоке отработавших газов

на бензоводородной смеси, то 1 кг этой смеси при $\alpha=1,6$ дает 3,1 кг водяного пара. При конденсации каждый килограмм этого пара выделяет до 2,5 МДж тепла, или 7,5 МДж на 1 кг смеси. Следовательно, при температуре гидрида, омываемого отработавшими газами, выше 353 К (температура насыщенных паров воды), он с каждого килограмма сгоревшей водородно-бензиновой смеси получит от отработавших газов на 7,5 МДж меньше, чем при температуре ниже 353 К.

Рассматривая физическую картину передачи тепла от отработавших газов к гидриду, необходимо обратить внимание на то, куда и в каком количестве расходуется это тепло. Экспериментальные данные показывают, что тепло отработавших газов идет на реакцию разложения гидрида и на увеличение внутренней энергии сорбента, т. е. на поднятие его температуры. Количество тепла, идущее на разложение, относительно велико и составляет для гидрида LaNi_5 при скорости выделения водорода $6000 \text{ см}^3/\text{мин}$ около 1,2 кВт. Чем больше водорода содержится в данный момент в гидриде, тем больше тепла идет на реакцию разложения.

Под воздействием тепла отработавших газов разложение гидрида происходит только на определенном, относительно небольшом участке, который по мере выхода из него водорода перемещается от начала аккумулятора (место входа отработавших газов) к его концу (рис. 4).

При температуре отработавших газов на входе в аккумулятор 490 К температура гидрида на участке, где происходит активное дегидрирование, не поднимается выше 330 К, но с выходом водорода температура самого гидрида постепенно увеличивается и в итоге достигает температуры отработавших газов.

По мере перемещения участка активного дегидрирования в сторону конца аккумулятора тепла к этому участку подходит все меньше и меньше, так как часть его по пути движения отработавших газов вдоль трубки тратится на «бесполезный» нагрев гидрида, уже выделившего водород. Это снижает скорость выделения водорода из «хвостовых» участков гидридных трубок, что нарушает нормальную работу двигателя при движении автомобиля по городу. Больше того, скорость выделения водорода из гидрида (или скорость реакции разложения) при постоянном теплосодержании отработавших газов с уменьшением содержания водорода в гидриде падает, и последние $\sim 15\%$ водорода выделить из гидрида практически не удается, т. е. на практике используется только $\sim 85\%$ введенного в гидрид водорода. Для более полного использования водорода, запасенного в гидриде, нужно либо повышать температуру отработавших газов, либо уменьшать потери тепла на всем пути следования этих газов от двигателя до выхода из аккумулятора.

Как указывалось ранее, при выделении водорода из аккумулятора, когда температура гидрида ниже температуры паров насыщения, в отработавших газах должна происходить конденсация паров, сопровождающаяся выделением тепла. Однако на практике наблюдается иная картина: на гидридных трубках образуется сплошная водяная пленка, резко ухудшающая условия теплопередачи. Поэтому для более полного использования тепла отработавших газов в водород-

ном гидридном аккумуляторе необходимо или удалять конденсат с гидридных трубок, или каким-то образом переводить пленочную конденсацию в капельную, при которой эффективность теплообмена увеличивается — по сравнению с пленочной — почти в 10 раз.

Экспериментальные данные показывают, что гидридная система хранения водорода весьма инерционна и что степень ее инерционности тем выше, чем меньше процентное содержание водорода в гидриде. Например, время прогрева гидридного аккумулятора с LaNi_5 на холостом ходу двигателя до температуры, обеспечивающей скорость выделения водорода $60000 \text{ см}^3/\text{мин}$, увеличивается с 10—15 мин при 100%-ном содержании водорода до 25 мин при 25%-ном его содержании. При этом скорость выделения водорода в последнем случае в гидриде уменьшается до $35000 \text{ см}^3/\text{мин}$, т. е. почти в 2 раза.

Таким образом, уже в ходе первых экспериментов удалось получить качественную картину теплообмена между отработавшими газами двигателя и гидридным аккумулятором водорода и, кроме того, определить некоторые особенности поведения гидрида при его нагревании в относительно больших количествах теплом отработавших газов. В частности, было установлено, что после активации гидрида (гидрирование и дегидрирование) происходит его измельчение до порошка с зернами размером 3—6 мкм. В результате при расходе водорода $60000 \text{ см}^3/\text{мин}$ и больше порошок гидрида выносится из аккумулятора (фильтры, установленные на выходе из каждой трубки, и общий фильтр на выходе из аккумулятора с порами размером 8—10 мкм практически не задерживает порошок) и заполняет коллекторы, а также выходные трубки системы подачи водорода к двигателю. Это, в конечном итоге, приводит к выходу из строя манометров, запорных вентилей, измерительной и регистрирующей аппаратуры, а иногда — при очистке фильтров — и к вспышкам.

Вторым, ранее неизвестным, моментом, который наблюдается при активации гидрида, является то, что при насыщении аккумулятора водородом происходит неравномерное расширение зерен порошка гидрида по длине трубок, приводящее к вспучиванию стенок трубок или даже их разрыву и воспламенению порошка.

Казалось бы, этого можно избежать, если трубки заполнить LaNi_5 лишь частично, например на 2/3 ее объема, чтобы при последующем насыщении сплава водородом было свободное место для расширения сплава. Однако эксперимент показал, что гидрид, образующийся при насыщении сплава водородом, из-за больших сил трения между частицами не заполняет свободный объем. Здесь наблюдаются лишь локальные расширения (в местах наибольшего поглощения водорода), приводящие к вспучиванию стенок трубок.

Экспериментальные исследования металлургической системы хранения водорода выявили ряд других особенностей в работе гидридного аккумулятора водорода (бака). Так, при остановке двигателя и перекрытии магистрали, по которой подается водород от бака к двигателю, после остывания наступают такие условия, когда давление в аккумуляторе

водорода становится ниже атмосферного, что создает условия для попадания воздуха и влаги в его внутреннюю полость и последующего отравления гидрида.

В заключение отметим, что выявленные особенности работы металлургического водородного аккумулятора и физическая

картина ряда процессов позволяют устранить недостатки гидридной системы хранения водорода и наметить пути дальнейших исследований по их доводке в направлении повышения аккумулярующих свойств гидрида, совершенствования процессов теплообмена и конструкции бака.

УДК 621.436.038.5.004.6:620.193

О причинах разрушения некоторых деталей ТНВД

Ю. А. БЕЛОВ

Ярославский завод топливной аппаратуры

В СВЯЗИ с продолжающейся в XI пятилетке дизелизацией парка грузовых автомобилей особое значение приобретает повышение надежности топливных насосов высокого давления дизелей (ТНВД), в первую очередь их кулачковых валов, клапанной и плунжерных пар, распылителей форсунок. Добиться этого можно путем устранения причин, которые вызывают преждевременный выход из строя перечисленных деталей и узлов.

Имеется несколько таких причин. Главные среди них — механический и абразивный износы, а также фреттинг-коррозия и закоксование распылителей форсунок.

Первые две из этих причин изучены достаточно полно, поэтому останавливаться на них не будем. Что касается третьей — фреттинг-коррозии, — то здесь пока еще далеко не все ясно, хотя она очень часто ведет к полному отказу ТНВД. Примером могут служить случаи разрушения кулачкового вала ТНВД в коническом соединении этого вала с автоматической муфтой.

Как показали исследования, на конусных поверхностях разрушившихся валов всегда есть признаки фреттинг-коррозии — притертости, изъязвления, продукты красновато-коричневого цвета. Последние обнаруживаются и на поверхности изломов.

В ходе исследований выявилось также, что характер разрушения кулачкового вала ТНВД может быть двояким. Во-первых, это скол шпоночного паза (рис. 1, а); во-вторых, поломка вала примерно перпендикулярно шпоночному пазу (рис. 1, б, в).

Первый тип поломки объясняют тем, что шпоночный паз является концентратором напряжений, возникающих при передаче крутящего момента от двигателя на вал ТНВД [1].

Действительно, сегментная шпонка в реальной конструкции служит, как было выявлено в ходе исследований, не только для ориентации автоматической муфты относительно первого кулачка вала, но и для передачи через нее значительной части крутящего момента, а также нагрузки, возникающей при тангенциальных перемещениях муфты и вала. Об этом свидетельствует часто наблюдаемое смятие материала боковых поверхностей шпонки и паза на валу.

Но следы усталостного износа есть не только в местах расположения концентраторов напряжений (углах шпоночного паза), но и на боковых стенках паза, где обнаруживаются следы фреттинг-коррозии. Следовательно, причинами разрушения кулачковых валов ТНВД являются как наличие концентраторов напряжений, так и фреттинг-коррозия.

Предупредить выход из строя насоса удастся за счет постановки пружинной шайбы под гайку, т. е. исключения «разбалтывания» соединения. Однако следует помнить, что при длительной эксплуатации насоса затяжка гайки ослабляется даже при наличии пружинной шайбы. Так, если без шайбы наработка ТНВД, у которых наблюдался скол шпоночного паза составляла 60—400 ч, то при наличии шайбы хотя и значительно увеличилась, но не превысила 1100—1500 ч. Значит для того чтобы исключить случаи разрушения кулачкового вала ТНВД, степень затяжки гайки нужно периодически контролировать.

Как уже упоминалось, вторым типом разрушения является поломка вала поперек шпоночного паза, примерно перпендикулярно оси кулачкового вала. В этом случае также обнаруживаются все признаки фреттинг-коррозии, и очаги зарождения усталостных трещин возникают или в местах повреждения конусной поверхности фреттинг-коррозией, или на границе с ней (рис. 2). Расположение трещин в этом случае связано с концентраторами напряжений в шпоночном пазу, поэтому они наблюдаются со стороны, противоположно пазу. Причиной их возникновения являются пики контактного давления в пятнах касания, связанные с асимметричной деформацией в процессе напрессовки сопрягаемых деталей, имеющих шпоночные пазы [1]. То, что трещины перпендикулярны оси вала, объясняется повышенными растягивающими напряжениями, возникающими при сильной затяжке гайки, низкими пластическими свойствами закаленного цементового слоя вала. Вместе с тем характер повреждений показывает, что микроперемещения муфты происходят в этом случае преимущественно в плоскостях, параллельных оси вала, что по мнению ряда исследований [2] и др., может быть вызвано большими прогибами вала из-за недостаточной его жесткости. Это подтверждается и таким фактором: большинством



Рис. 1. Виды разрушений кулачковых валов в месте сопряжения с автоматической муфтой:

а — вырыв шпоночного паза ($\times 2$); б, в — поперечное усталостное фреттинг-коррозионное разрушение на различном расстоянии от основания конуса (соответственно $\times 1,6$ и $\times 1,3$).



Рис. 2. Усталостная трещина по месту интенсивной фреттинга (разрушение вала поперек шпоночного паза) ($\times 100$)