

УДК 621.01,531.3

С.Абдраимова, Э.С. Абдраимов, А. Кошбаев, А.А. Абытов,
Д.т.н. проф. ИМ ИА Кр, сотрудник ИМ ИА КР, сотрудник ИМ ИА КР
М.У. Аракеев, Т.М. Абдраимов - сотрудник ИМ ИА КР, сотрудник ИМ ИА КР,
S.Abdraimov, E.S. Abdraimov, A. Koshbaev, A.A. Abytov, M.U. Arakeev, T.M. Abdraimov
d.t.s.prof., MEI EA KR, specialist MEI EA KR, specialist MEI EA KR,
Specialist MEI EA KR, specialist MEI EA KR.

**ПОСЛЕУДАРНЫЙ ЭФФЕКТ И ЕГО ПРОЯВЛЕНИЕ НА ОПОРНОМ УЗЛЕ
КОРОМЫСЛА-БОЙКА КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВОГО УДАРНОГО
МЕХАНИЗМА**

В статье рассматривается воздействие или следствие удара на опорный узел коромысла-бойка ударного механизма.

Ключевые слова: удар на опорный узел, ударный механизм, ручные молотки и перфораторы, Опорный узел, коромысла-бойка.

**POST-IMPACT EFFECT AND ITS MANIFESTATION IN THE SUPPORT ASSEMBLY
OF THE ROCKER-STRIKER CRANK-ROCKER SHOCK MECHANISM**

The article discusses the impact or consequence of the impact on the rocker-striker firing mechanism support unit.

Keywords: impact on the support unit, the impact mechanism, hammers and hand drills, support assembly, rocker-striker.

В данной работе рассматривается воздействие или следствие удара на опорный узел коромысла-бойка ударного механизма Абдраимова С. с наибольшим шатуном (рис. 1). На основе этого ударного механизма созданы как ручные молотки и перфораторы, так и навесное оборудование – молота устанавливаемые на манипуляторах экскаваторов обладающие конструктивно идентичными опорными узлами.

Опорный узел, рассматриваемый ниже (рис. 1), состоит из коромысла-бойка 2, в которое запрессован палец 1 входящий в шарнир шатун – коромысло. В опорной части тела коромысла-бойка установлены подшипники 3, 4 составляющие шарнир коромысла-бойка с корпусом 12 посредством оси 5. Ось 5 опоры коромысла-бойка запрессована в бобышку корпуса 12. Осевая фиксация подшипников 3 и 4 коромысла-бойка на оси 5 обеспечивается конструктивными элементами в виде бурта и упорных шайб, в качестве примера: бурт оси «А» и шайбы 6, 7 (рис. 1, б). Ось в корпус запрессована с натягом неподвижно и удерживается болтами 8, 9 и крышкой 10 установленной с торца оси и бобышки корпуса. Болты стопорились отгибкой шайбой 11.

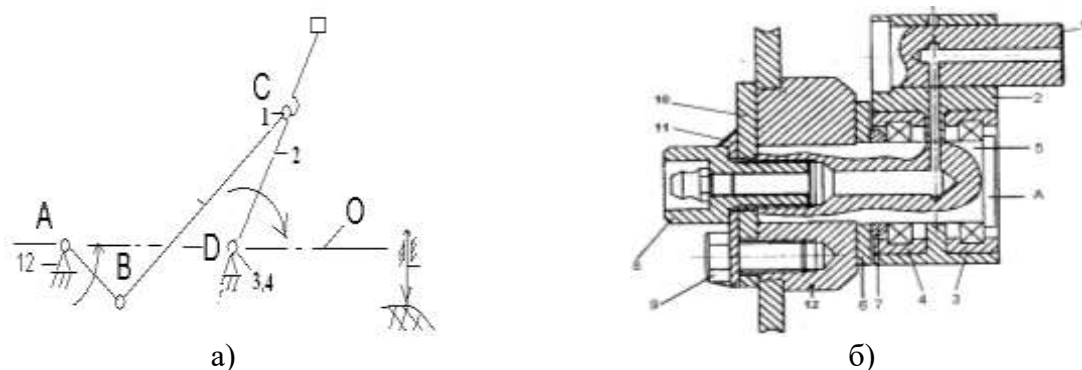


Рис. 1. Ударный механизм на основе кривошипно-коромысловой схемы с наибольшим шатуном.
а) Кинематическая схема, б) Опорный узел коромысла-бойка.

Испытания ударных узлов производились как в лабораторных, так и в промышленных условиях на строительных объектах при разрушении (бурении) бетонных конструкций. Для проведения отдельного цикла испытаний, с целью выявления характера действующих реакций сил, ударный узел был оснащён специально выполненной осью коромысла обладающей заниженной твердостью поверхности, составляющей всего 32-35 HRC. Осмотр деталей опорного узла перфоратора типа МПР-4 выявил следы действия реакций сил возникших в конструкции. Следы износа на поверхности оси 5 (рис. 2) от перекатывающихся коротких цилиндрических роликов имеют неодинаковую величину. Износ под роликами подшипника 3, находящегося ближе к шатуну и кривошипу, больше чем под роликами подшипника 4. Это указывает на неравномерный характер сил, действующих на опору коромысла.

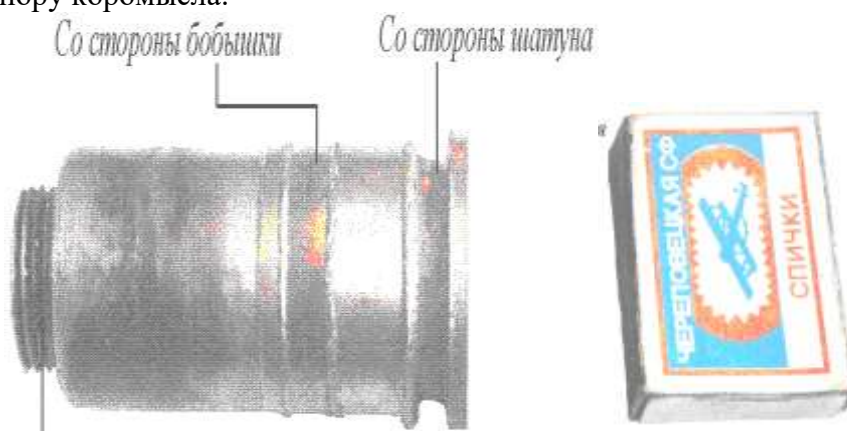


Рис. 2. Ось коромысла

Анализ отказов ряда ручных ударных машин, имеющих конструктивное различие в консольном креплении оси 5 (рис. 1 и 3), позволил выявить направление действия динамического усилия в опорном узле. Конструктивное различие в молотках (рис. 3), типа МРЭ-6 с коллекторным электроприводом и МОМ-10 с приводом от асинхронного электродвигателя посредством гибкого вала, заключалось в месте консольного закрепления оси 5 коромысла в корпусе. Как видно ось коромысла 5 (рис. 3) закреплена зеркально – на противоположных стенках корпусов молотков.

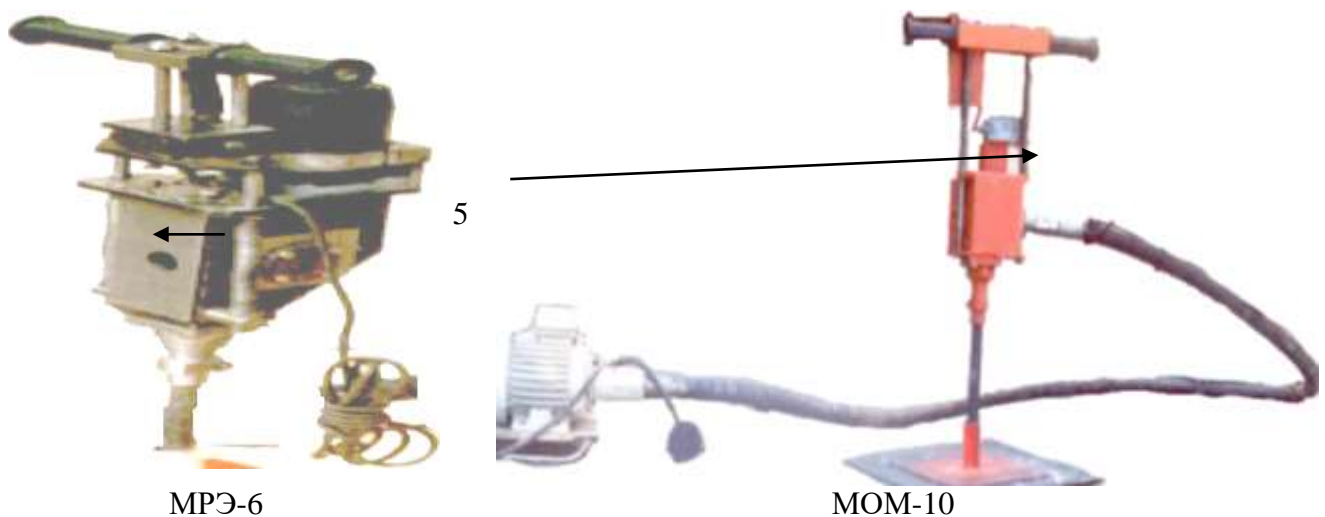


Рис. 3. Место крепления оси коромысла в корпусе ручных молотков.

В конструкции МРЭ-6 (рис. 3) происходил износ отверстия бобышки корпуса и ослабление прессовой посадки оси 5. Отказы, вследствие этого износа, в молотке МРЭ-6 происходили постоянно, а в молотке МОМ-10 такого не было, хотя в обеих конструкциях ось удерживалась болтом 8 (рис. 1, б) с нормальной (правой) резьбой. После замены в молотке МРЭ-6 правой резьбы на левую отказы прекратились. Данный факт позволил сделать вывод о том, что направление составляющей окружной силы, проворачивающей ось, соответствует движению коромысла после удара в обратном направлении. После удара возникающая окружная сила воздействует через ролики подшипников 3 и 4 (рис. 1,б) на поверхность оси 5 проворачивая ось 5 в корпусе 12.

В ударном узле навесных молотов типа М70 и М100 отказы опорного узла проявлялись в зависимости от модификации молотов и условий их эксплуатации. Первым типом отказов были разрушение распорной втулки 6, установленной между шариковыми подшипниками 1 (рис. 4), и стопорного кольца 7, фиксирующего осевое перемещение подшипников 1 в теле коромысла 3. Все попытки остановить разрушения путём увеличения сечения распорной втулки, выбора режимов термической обработки, установки чашечных шайб, усиливающих стопорное кольцо, результатов не дало.

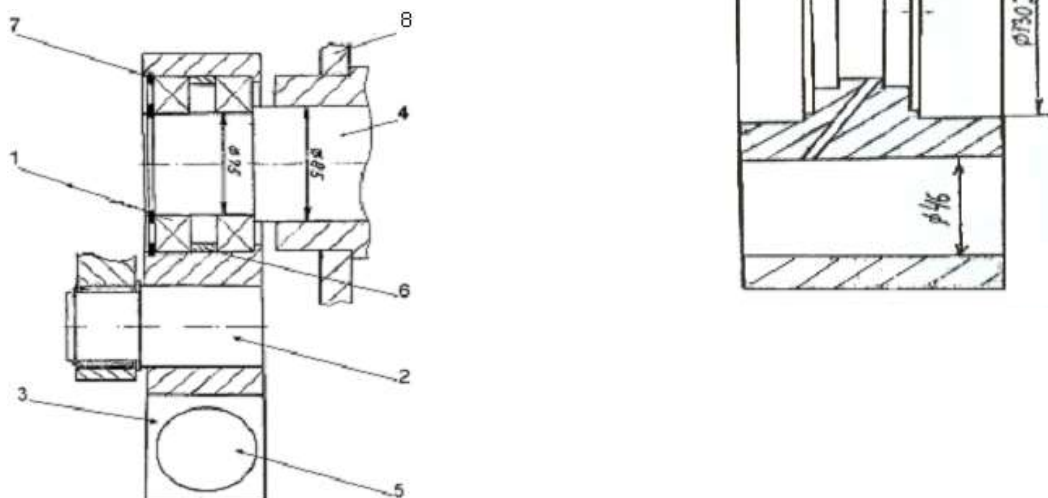


Рис. 4 Опорный узел коромысла-бойка молота типа М70.

1 – подшипники; 2 – палец; 3 – коромысло;
4 – ось коромысла; 5 – боёк; 6 – распорная втулка;
7 – стопорное кольцо; 8 – корпус.

Рис. 5 Конструкция коромысла с пояском по сечению А-А.

В следующих модификациях опорного узла пришлось исключить эти детали, заменяя их на выступы (бурты) и другие элементы тела коромысла-бойка. Пример замены распорной втулки между подшипниками на поясok тела коромысла-бойка представлен на рис. 1, б и рис. 5.

Были отмечены случаи перемещения в продольном направлении оси коромысла 4 (рис. 4) запрессованного в корпус 8. В этом случае продольную фиксацию оси коромысла, оказалось, достаточно обеспечить крышкой 10 с внешнего торца оси, как на рис. 1, б.

В последующем, с увеличением подводимой мощности к ударному узлу, возникали поломки по слабым сечениям коромысла-бойка, описанного в работе [1]. Как следствие работ по повышению прочности и долговечности коромысел были заменены подшипники опорного узла коромысла. Вместо шариковых подшипников стали устанавливать роликовые как цилиндрического типа, так и конические роликоподшипники с меньшими, по сравнению с шарикоподшипниками, габаритными размерами.

Поэтому возникла необходимость предусматривать устройство натяга для конических роликоподшипников.

На рис.6 представлен фотоснимок опорного узла первых моделей молотов с коническими роликоподшипниками, сделанный снаружи молота и внутри. Конструкция натяжного устройства включала в себя натяжной болт 2 (рис.6) проходящий сквозь ось коромысла и опорную гайку 5 накручиваемую на резьбу болта 2. Опорная гайка от самопроворачивания фиксировалась двумя – четырьмя штифтами 4, установленными на внутреннем торце оси. С наружного торца оси установлена крышка 7, закреплённая болтом (М16) 1 в бобышке 6 корпуса. Угловую и продольную фиксацию осуществлял радиальный фиксатор 3, выполненный в виде болта М16, установленного в совместно просверлённом в оси и бобышке резьбовом отверстии.

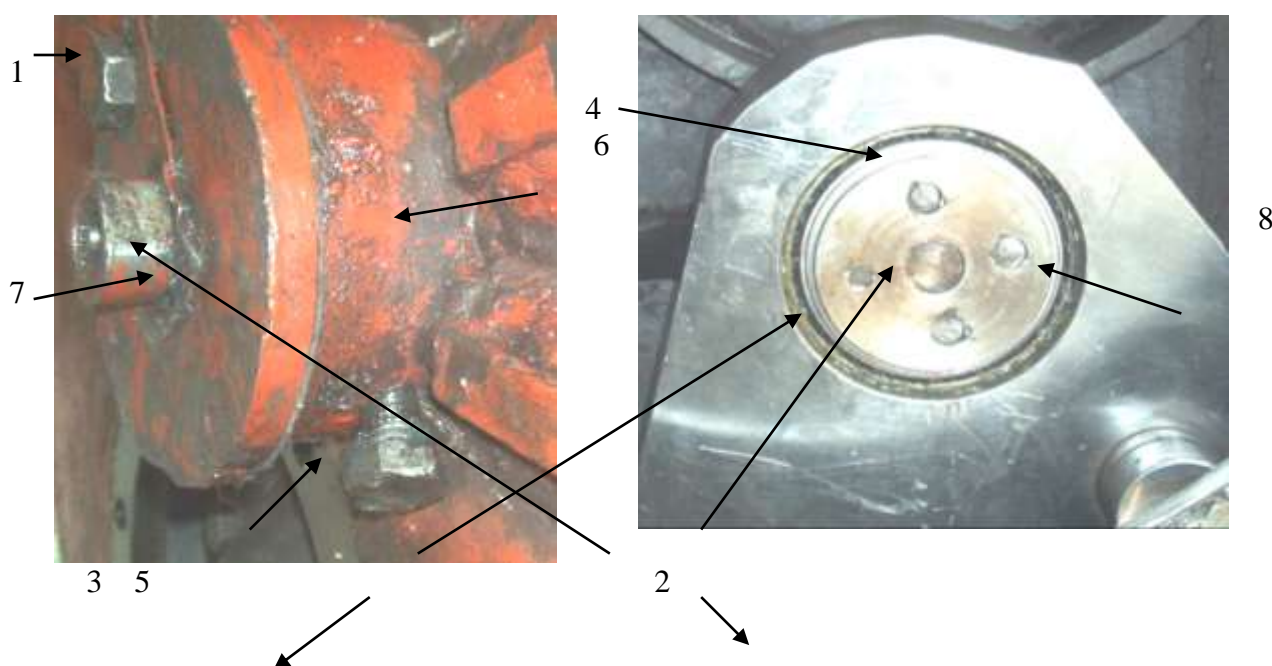




Рис. 6 Срезанная часть резьбы M22x1,5

1- болт крепления крышки. 2- болт натяжной.
 3- фиксатор радиальный. 4 – штифты. 5- гайка опорная. 6 – бобышка корпуса.
 7 – крышка. 8 – конические подшипники коромысла
 Стопорение болтов осуществлялось отгибными шайбами.

Характер отказов, возникших во время испытаний этих молотов в промышленных условиях, указывает на увеличение реакций сил, действующих на элементы конструкции опорного узла, соразмерно увеличению подводимой мощности.

В частности срезало резьбу натяжного болта 2, работающего в опорной гайке 5 (рис.6). Натяжной болт 2 с резьбой M22x1,5 выполнен из низколегированной конструкционной стали марки 35ГС, без термообработки; твёрдость опорной гайки составляла 26-28 HRC. Большие значения осевой составляющей сил, действующих в опоре, приводили к продольному перемещению в корпусе оси коромысла, в ряде случаев срезая радиальный фиксатор 3 (рис. 6).

Происходил произвольный самоподжим конических подшипников, приводящий к многократному увеличению сил сопротивления. Как следствие: имел место случай поломки зубьев зубчатого венца колеса-кривошипа – выделенных стрелками на рис. 7. Зубья колеса-кривошипа наработали 31 часа 16 мин с частотой ударов в среднем 2,7 Гц, максимум – до 5 Гц., т.е. они испытали более 300000 циклов нагружения, при неоднократных перегрузках, возникавших во время поломок других деталей ударного узла.

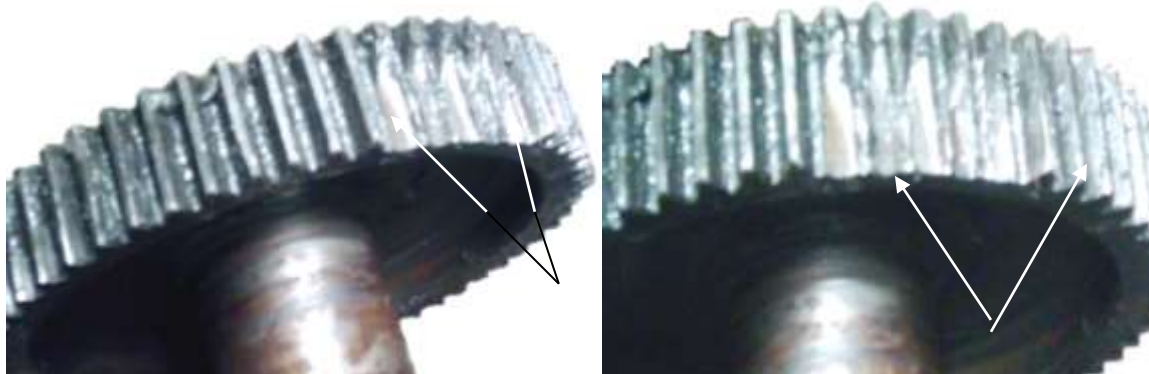


Рис. 7 Зубчатый венец колеса-кривошипа.

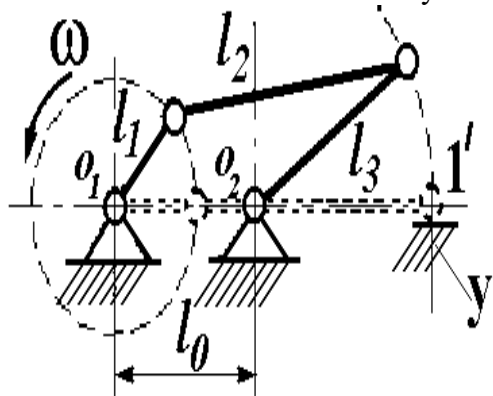


Рис. 8 L₁- кривошип, L₂- шатун,
 L₃- коромысло

Место поломки соответствует положению, когда кривошип после удара повернётся на 67° от «особого положения», а коромысло на 45° (рис. 8). Очаг возникновения разрушения, структура и площадь долома зубьев говорит о малоцикловом развитии процесса разрушения. Самоподжим конических роликоподшипников опоры коромысла становился основной причиной разрушения других элементов конструкции: корпусов - вокруг опоры коромысла, самих подшипников опоры коромысла, оси шатуна и самого шатуна.

Анализ представленных выше отказов (рис. 6, 7) потребовал откорректировать конструкцию опорного узла. Первое: резьбовое соединение натяжного болта и опорной гайки убрали как можно дальше от источника динамических усилий – опоры коромысла и вывели наружу, обеспечив тем самым и визуальный контроль натяга. Второе: добавили к радиальному фиксатору 1 ещё и второй – осевой фиксатор 2 (рис. 9).

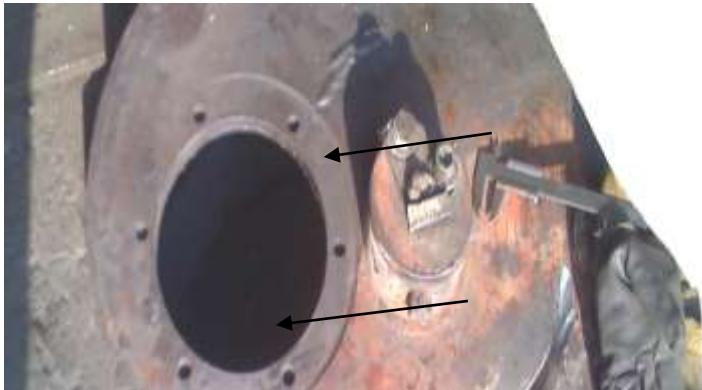


Рис. 9 Осевой и радиальный фиксаторы оси коромысла

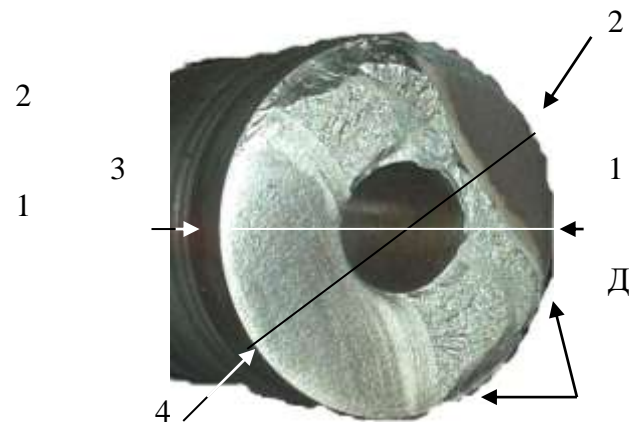


Рис. 10 Консольная часть оси коромысла

Эти и другие рекомендации выполненные в последующих моделях навесных молотов позволили повысить прочность и жёсткость конструкции опорного узла коромысла-бойка. Однако реакции, действующие на опору, увеличились по мере увеличения подводимой мощности. Повышение жёсткости конструкции с одной стороны и увеличенные реакции сил с другой стороны увеличили значение напряжений, развиваемых в элементах конструкции, особенно в местах их концентрации. Концентратором напряжений оси коромысла являлось место выхода консоли оси из корпуса. Нарботка последних модификаций молотов типа М100 выявила два случая поломки оси в месте концентрации напряжений.

В первом случае поломанная ось (рис. 10) испытала около 240000 циклов нагружения. На снимке (рис. 10) вид обломанной консольной части оси, непосредственно являющаяся опорой коромысла. Плоскость излома прошла у основания консоли. Очаги трещины 2 и 4 (рис. 10) с двух сторон оси (соединены чёрной линией 2-4), почти совпадают с плоскостью «особого положения» (отмечена белой линией 1-3). Видно на снимке, как трещины развивались до зоны «Д» в которой произошел окончательный излом (долом) оси. Со стороны 1 происходит соударение коромысла о волновод, затем коромысло, поворачиваясь на оси, последовательно минуя места, обозначенные 2 и 3, достигает стороны 4 (рис. 10) – своего крайнего заднего положения, и опять возвращается обратно, повторяя рабочий цикл. Твёрдость оси 25-27 HRC.

Во втором случае ось коромысла, представленная на рис. 11, выдержала около 500000 циклов нагружения. На рис. 11 наглядно видно место прохождения плоскости излома и характер развития трещины аналогичной первому случаю. Направление качания коромысла после удара обозначен, как и в первом случае, положениям 1-2-3-4, а при разгоне для удара – наоборот 4-3-2-1. Очаг трещины 2, возник со стороны 1 соударения коромысла о волновод, находится на угле 35° от линии «особого положения» (белая линия 1-3). Его последующее развитие и окончательный излом лежат на линии 2-4 (показана чёрным цветом). Такая ориентация направления излома наводит на мысль о пиковых нагрузках имеющих место при отводе коромысла, на угол до $25 - 35^{\circ}$ назад после удара. Плоскость излома оси «К» совпадает с основанием бобышки корпуса (рис. 11) как и в предыдущем случае.

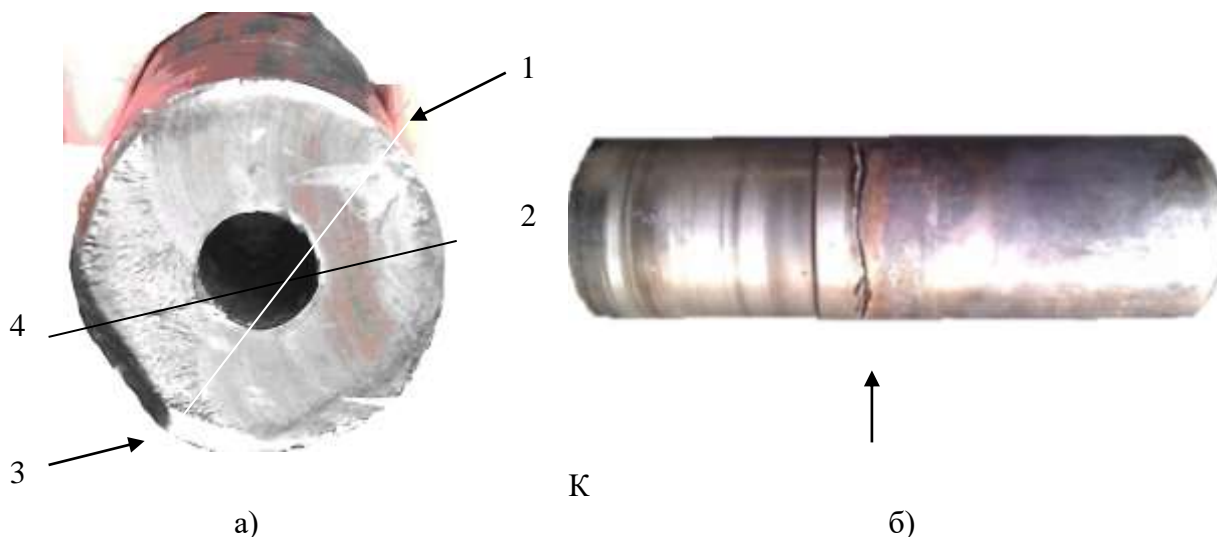


Рис. 11 Второй случай поломки,
а) запрессовываемая часть оси коромысла, б) место поломки оси.

Оба идентичных случая свидетельствует об увеличении напряжений в месте выхода консоли из корпуса.

Проведённый анализ отказов, исследование мест разрушений поломанных деталей ударников позволили дать оценку величине и направлению динамических усилий возникающих в процессе работы ударного узла. На ось коромысла действуют не только изгибные напряжения, как мы всегда считали, но и соизмеримые по величине с изгибными нагрузками, окружные силы проворачивающие ось в направлении отвода коромысла после удара и силы направленные вдоль оси. Так же следует констатировать о том, что в ударном механизме наибольшие разрушающие динамические усилия в момент отвода коромысла-бойка после удара превосходят значения усилий возникающих в момент разгона коромысла-бойка перед ударом. Послеударный эффект могут составлять не только рассмотренные виды динамических усилий.

Следует обратить внимание на диаграммы изменения угловых скоростей кривошипа и коромысла, полученные путём анализа видеозаписи, выполненной в цифровом формате в момент выполнения промышленных испытаний молота типа М100 (рис. 12). Эти диаграммы отражают характер изменения скоростей звеньев механизма на определённых участках движения и в целом отражают выводы, сделанные в предыдущих исследованиях.

На диаграммах можно выделить два основных участка. Один из участков – начиная с 11 по 5 положение – участок перегрузок, это следует из того, что на этом участке происходит уменьшение угловой скорости кривошипа. Он расположен вблизи особого положения механизма, где происходит соударение коромысла-бойка с волноводом – положение 12 (рис. 12). С этими перегрузками предположительно связаны поломки механизма во время промышленных испытаний.

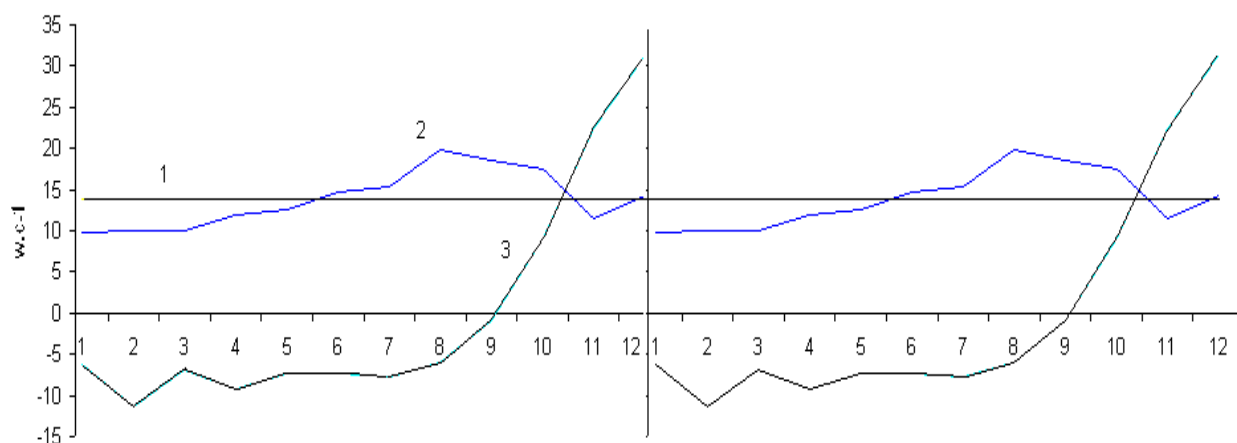


Рис. 12 Диаграмма угловых скоростей звеньев механизма.
 1 – средняя скорость кривошипа. 2 – изменение скорости кривошипа.
 3 – изменение скорости коромысла.

Следует глубже проанализировать все участки диаграммы скорости звеньев ударного узла молота М100, т.к. эти закономерности характерны для всех типов молотов созданных на основе схемы С. Абдраимова с наибольшим шатуном.

На диаграмме видно, что колебания коромысла-бойка после удара продолжаются до 4 положения и сглаживаются к 5 положению. Причём к положению 2 колебания коромысла-бойка наибольшие, что подтверждает природу крутильных колебаний развивающих знакопеременные напряжения, дополнительно нагружающие элементы конструкции внутри одного цикла.

В дальнейшем данный материал поможет дополнить кинестатические исследования зон перегрузок и сформулировать научно обоснованные подходы к конструированию опорного узла коромысла-бойка ударного механизма Абдраимова С.

Литература:

1. Опыт повышения конструкционной прочности коромысла ударного узла молота типа М70 (с рычажным механизмом переменной структуры). Вестник КГУСТА им Н. Исанова. Выпуск 3 (25) г. Бишкек-2009, с. 20-27