

ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ КОРОМЫСЛА УДАРНОГО УЗЛА МОЛОТА ТИПА М-70 (С РЫЧАЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ)

Жумушта М-70 тириңдөгү базгандын удардык өткөргүчүндөгү коромыслонун тириңдиги бекемдиги жогорулатуу суроолору каралган.

В работе рассматриваются вопросы повышения конструкционной прочности коромысла ударного узла молота типа М-70.

In work is observed questions of increase of constructional durability of balance beam of jumper bit- hammer М-70.

В процессе исследования ударных узлов начальных рычажных механизмов переменной структуры (МПС) Ю.А.Фокин разработал конструкцию коромысла для молота типа М-70, представленную на рис. 1. В этой конструкции центр тяжести коромысла расположен на одной линии с центром удара, удаленного от оси вращения на 210 мм [1]. В опоре коромысла (рис. 2, а) установлены два шарикоподшипника 1 типа 215 с внутренним и наружным диаметрами 75x130 мм соответственно. Палец коромысла 2 диаметром 60 мм запрессовывается в тело коромысла на расстоянии 120 мм от оси вращения. В коромысло на расстоянии, соответствующем центру удара, запрессован боек 5 – деталь цилиндрической формы со сферической ударной поверхностью. Между подшипниками опоры коромысла расположена втулка 6 толщиной 5 и высотой 18 мм. Для фиксации подшипников опоры коромысла использовались стопорные кольца 7, установленные как на оси, так и на теле коромысла. В шарнире шатун-коромысло установлен игольчатый роликоподшипник 8 типа 943/50. Ось коромысла 4 закреплена консольно на стенке 9 корпуса молота.

Показанная на рис. 1 конструкция коромысла была спроектирована для молота типа М-70, общий вес которого составлял около 350 кг. Молот оснащен гидравлическим приводом, устанавливался на стреле экскаватора модели ЭО-2621 типа «Беларусь» вместо ковша и запитывался от гидросистемы. Ударный узел представляет собой шарнирно-рычажный четырехзвенный «начальный» МПС, собранный по схеме «наибольшего шатуна» с передаточным отношением от коромысла к кривошипу 3,88 [2].

С целью определения надежности молота, а также выявления резервов прочности конструкции были проведены его испытания. При этом в номинальном режиме вращения коленчатого вала двигателя экскаватора (модели Д-65) и давлении в гидросистеме 10–11 МПа максимальная частота ударов молота составляла 3,5 Гц при «непрогретой» гидросистеме. В диапазоне рабочих температур гидравлической жидкости 50–60 °С частота ударов составляла 2,2–2,7 Гц.

Испытания проводились в различных погодных условиях на строительных площадках города Бишкек при разрушении как железобетонных конструкций, так и асфальтового покрытия. Время наработки фиксировалось как операторами, так и представителями стройплощадок и не включало перерывов и других простоев молота.

По результатам испытаний молотов были выявлены отказы в работе элементов ударного механизма. Эти отказы в порядке их возникновения представлены в табл. 1, где в столбце «А» указан номер испытываемого молота, в столбце «В» – номер коромысла, используемого в данном молоте, в столбце «С» – номер отказа для данного коромысла и в столбце «D» – вид отказа. В скобках указаны даты фиксации отказов.

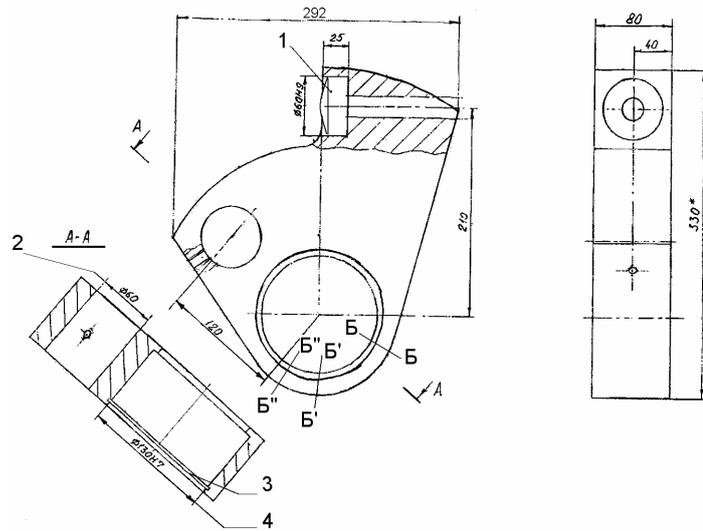


Рис. 1. Конструкция коромысла:

1 – боек; 2 – отверстие под палец; 3 – канавка стопорного кольца; 4 – гнездо шарикоподшипников 215; Б-Б, Б'-Б' и Б''-Б'' - сечения излома (трещины)

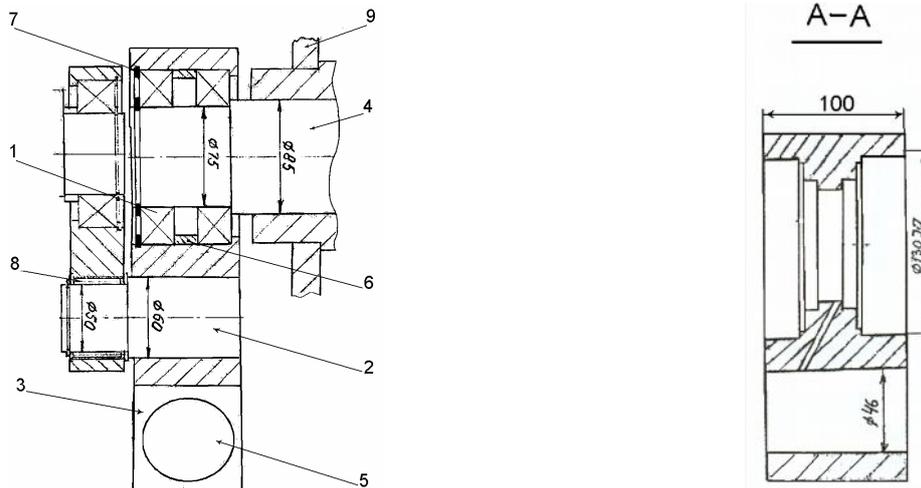


Рис.2. Конструкция ударного узла:

а. Ударный узел:

1 – шарикоподшипник типа 215; 2 – палец; 3 – коромысло; 4 – ось; 5 – боек; 6 – втулка; 7 – стопорное кольцо; 8 – игольчатый подшипник типа 943/50

б. Конструкция коромысла с пояском

Следует отметить, что втулка 6 (отказ 1.1.2), несмотря на мероприятия по увеличению сечения выбора стали с более высокими механическими свойствами и режимов термической обработки, не прекратила разрушаться. Также не удалось устранить отказ 1.1.1, несмотря на применение чашечных шайб, которые тоже стали разрушаться (отказ 2.1.1). При разрушении коромысла (отказ 2.1.2) по сечениям Б'-Б' и Б''-Б'' часть тела коромысла, ограниченная этими сечениями, отломилась полностью и была утеряна на месте испытаний.

Отказы в работе элементов ударного механизма

A	B	C	D
1	1	1	1.1.1 Выход из канавки стопорного кольца 7 (рис. 2) установленного в теле коромысла (10.06.04).
		2	1.1.2 Поломка втулки 6, находящейся между подшипниками 1 опоры коромысла.
		3	1.1.3 Выход пальца 2 (рис. 2) из отверстия коромысла (7.10.04).
		4	1.1.4 Поломка пальца коромысла.
		5	1.1.5 Разрушение игольчатого роликоподшипника 943/50. Обойма подшипника имела следы выдавливания и истирания.
		6	1.1.6 Трещина коромысла в сечении <i>Б-Б</i> (рис. 1) (23.12.04).
		2	1
3	1	1.3.1 Трещина коромысла в сечении <i>Б-Б</i> (7.02.07).	
2	1	1	2.1.1 Разрушение чашечных шайб для удерживания (усиления) стопорного кольца в теле коромысла (7.10.04).
		2	2.1.2. Разрушение тела коромысла по сечениям <i>Б'-Б'</i> и <i>Б''-Б''</i> (24.01.06).

Данные о наработке удалось собрать о коромыслах 1.1 и 1.2, которая составила соответственно 18,5 и 9 часов. Молоты с данными коромыслами были задействованы при разрушении как асфальтобетонных покрытий (коромысло 1.1.), так и железобетонных сооружений. Данные о наработке коромысел 1.3 и 2.1 отсутствуют, так как молоты с этими коромыслами работали на карьере Ак-Таш, долина «Кара-Куджур», при измельчении на складе горной породы (доломитов).

Необходимо отметить, что с целью увеличения энергии удара, начиная с коромысла 1.3 (№ 1), было принято решение об увеличении его толщины от 80 мм до 100 мм.

Данный опыт явился причиной следующих изменений в конструкции ударного узла.

Свободный ход волновода, по которому наносится удар коромыслом, принят равным 17 мм и ограничен снизу положением, при котором в момент удара все шарниры шарнирно-рычажного ударного механизма расположены на одной линии, установлен указатель нижнего положения волновода (17.12.04).

Вместо втулки 6 между подшипниками 215 опоры коромысла выполнен пояс в теле коромысла, что увеличило его сечение в наиболее тонкой части – в местах, где прошли трещины и разрушения (сечения *Б-Б*, *Б'-Б'* и *Б''-Б''*, рис. 1). Из конструкции исключено стопорное кольцо. Выполнен смазочный канал для смазки игольчатого подшипника через масленку, установленную снаружи. Запрессовка пальца выполнена с натягом до 40 мкм. Вместо игольчатого роликоподшипника шарнира шатун-коромысло типа 940(943/50) со штампованной наружной обоймой установлен игольчатый радиальный роликоподшипник типа 24000 (4024107). Выполненная точением с последующими операциями обработки наружная обойма игольчатого радиального роликоподшипника типа 24000 обеспечивала необходимую прочность, не разрушаясь, от осевых усилий, возникающих, прежде всего при смене направления качания коромысла и других сопутствующих факторах. Замена подшипника привела к уменьшению диаметра пальца и его отверстия в теле коромысла до 46 мм.

С этими конструктивными изменениями коромысло в сечении А-А получило вид, указанный на рис. 2. б. Изготовлена группа коромысел такой конструкции и проведены их испытания с целью определения наработки на отказ, причин возникновения отказов и их анализа.

В данной работе рассмотрены пять коромысел, выполненных в разное время, из различного материала и подвергшихся различной термической обработке (табл. 2).

Таблица 2

Номер коромыс.	Марка стали	Температ. нагрева $T_1, ^\circ\text{C}$	Закалочная среда	Температ. отпуска $T_2, ^\circ\text{C}$	Выдержка при отп., в часах	Тверд. HRC_E
№2	45	820	вода	400	1,5	36-38
№3	45	820	вода	400	1,5	36-38
№ 5	35	880	вода	450 600	1,5 2	38-42 28-32
№ 6	36X2H2MФА	880	вода	450 600 650	1,5 2 1	28-32
№ 7	45	820	вода	550	1	33

Следует отметить, что приведенные в таблице данные требуют уточнения в части марок сталей, их химического состава, так как приобретаемый на рынках города материал не сопровождался никакими документами. Коромысла нагревались в электропечи. Скорость нагрева не фиксировалась. Охлаждение производилось в воде объемом 90 литров, с окончательным остыванием на воздухе в интервале мартенситных температур. Температурные режимы определялись по следам побежалости. Причем в поковке, из которой было изготовлено коромысло № 6, в последующем был обнаружен дефект - трещина.

Эксплуатация молотов с данными коромыслами не выявила отказов, аналогичных предыдущим, кроме отказов, связанных с разрушением коромысел и установленных в них бойков.

Данные о долговечности вышеприведенных пяти коромысел представлены в виде диаграммы на рис. 3. Высота столбцов соответствует времени наработки до поломки в часах.

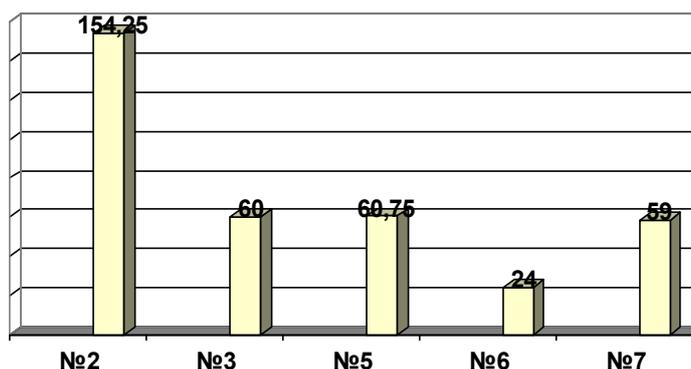


Рис. 3. Диаграмма долговечности коромысел

На рис. 4–7 показан характер поломок этих коромысел. На основе полученных результатов можно выделить три вида отказов коромысла.

Первый вид - это разрушения тонкой части тела – части подшипникового гнезда у пояска (коромысло № 2 и № 3, рис 4 а, б). Необходимо отметить, что разрушения этого вида как второй (табл. 2), так и первой (табл. 1) групп коромысел говорят о наличии больших усилий (реакций), действующих в этой части коромысла. Характер разрушений у двух групп поменялся вследствие изменения конструкции. Если в первой группе

коромысел трещина развивалась по сечениям Б – Б'' начиная с края коромысла, то во второй группе видно, что трещина возникла у основания пояска.

Различная жесткость по сечению способствовала концентрации напряжения у основания пояска. На рис. 4, б видны зоны развития трещины. Очаг трещины – В (рис. 4, б) проходит по кругу у основания пояска. Далее трещина развивается, поднимаясь, в плоскости сечения, к поверхности коромысла и проходит под пояском в сектор Г. Этот сектор выделяется более темным цветом. Со стороны пальца трещина выходит к краю по сечению Б''. Далее трещина развивается в секторе Е. Сектор Д получен вследствие намеренного долома сегмента с целью визуального доступа для исследования поверхности трещины. Поверхность сектора Д отличается зернистой структурой с рваными краями зерен. Сектор Г тоже имеет зернистую, ровную у основания пояска и с бугорками, ближе к сектору Е, структуру. Поверхность зерен сглаженная (деформированная), что может свидетельствовать о воздействии друг на друга (деформации) поверхностей трещины в период ее развития. Сектор Е имеет бугристую поверхность. Бугорки расположены рядами – волнами. В этом секторе, в плоскости сечения А-А (рис. 2, б), трещина поднимается к поверхности более круче (волнами). Бугорки схожей формы в виде наклонившегося тетраэдра в сторону сектора Г, с одним почти вертикальным ребром, направленным в сторону сектора Г и гранью выходящей на

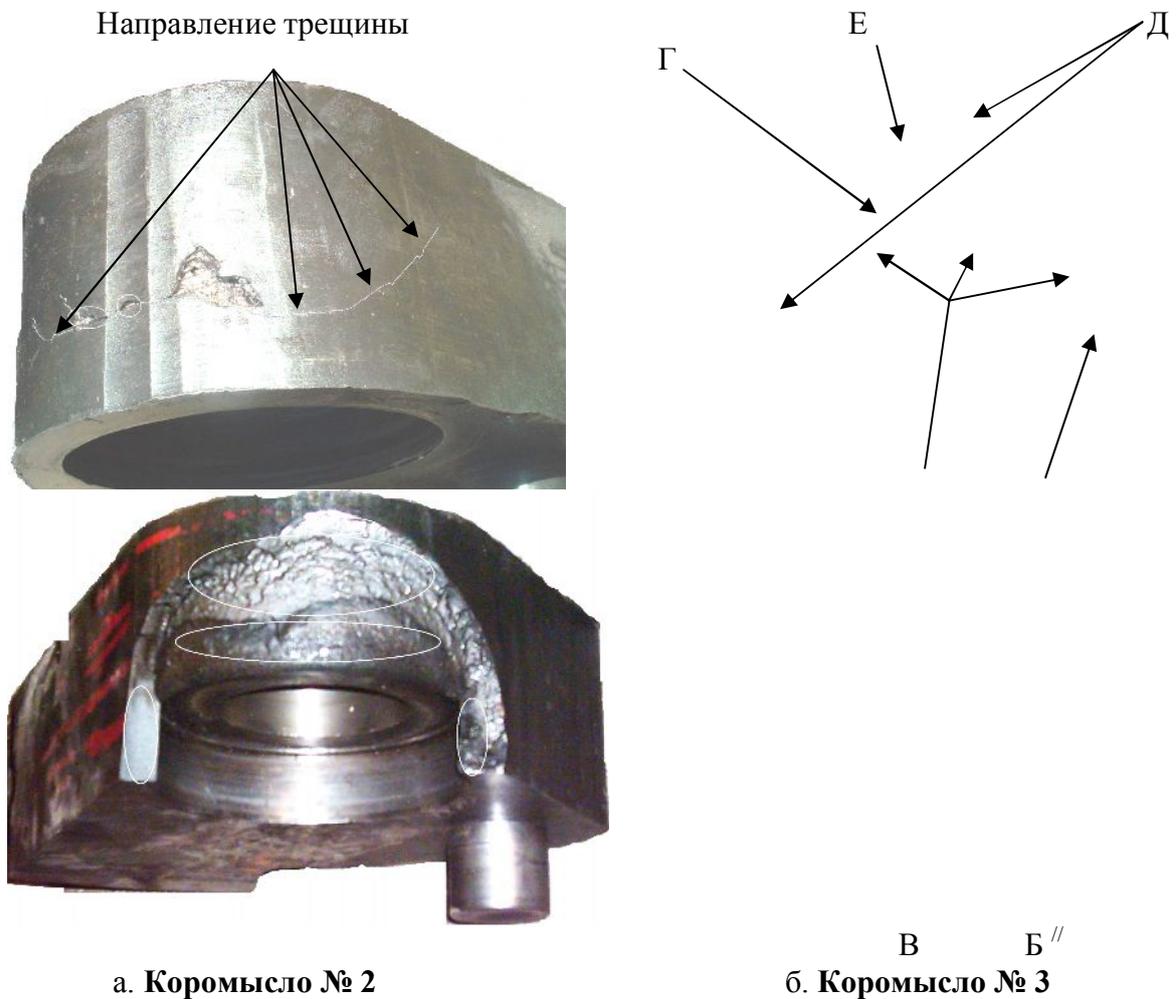


Рис. 4. Первый вид разрушений

следующий уровень по высоте (в сечении А-А горизонтально). При глубине до 5 мм трещина поднимается наружу вертикально. В области сечения Б'' поверхность трещины со следами сильной пластической деформации, что свидетельствует о взаимодействии поверхностей излома при работе молота. Трещины в обоих коромыслах второй группы

возникали с одной стороны пояска – со стороны шатуна. Но края трещин у данных коромысел (№ 2 и № 3) развивались в разные стороны.

Второй вид разрушений характерен тем, что плоскость излома коромысла проходит возле центра удара (коромысло № 5 и № 6, рис. 5, а, б). У коромысла № 6 очаг разрушения оказался у дна выточки для бойка – сектор Ж (рис. 5, г). Кольцеобразные следы развития трещины начинаются у дна выточки для бойка и опускаются ниже до границы 3. У коромысла № 5 очагом разрушения было место, расположенное ниже отверстия для бойка на 5 мм (рис. 5, в). Ниже границы 3 излом имеет зернистую структуру, такую же, как на поверхности Д (рис. 4, б) – с рваными краями но более крупными зернами.



а. Коромысло № 5



б. Коромысло № 6



в. Трещина коромысла № 5

г. Трещина коромысла № 6

Рис. 5. Второй вид разрушений

Третий вид – это трещина (плоскость) излома между отверстием пальца и отверстием под подшипники (коромысло № 7, рис. 6).

Четвертый вид – выкрашивание бойка. Этот вид разрушений наблюдался в коромыслах № 2 (рис. 7), № 6 (рис. 5, б, г) и № 8. Несмотря на треснувший боек коромысла № 8, оно наработало 38,5 часов при разрушении различных железобетонных изделий на строительных объектах г. Бишкек и в настоящий момент продолжает эксплуатироваться на карьере Ак-Таш. Бойки с коромысел № 5 (рис. 5, а, в) и 1.3 (табл. 1) вынуты и установлены в другие коромысла.



Коромысло № 7

Рис. 6. Третий вид разрушений.



Рис. 7. Четвертый вид разрушений

Для устранения наблюдавшихся отказов можно рекомендовать ряд конструктивных решений.

Первый и третий вид разрушений можно предотвратить, заменив шарикоподшипник 215 следующими подшипниками, табл. 3.

Таблица 3

Обозначение подшипника	d	D	B	Q, кг	n, об/мин
------------------------	---	---	---	-------	-----------

Шариковый радиальный однорядный 215	75	130	25	4000	5000
Роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 42115	75	115	20	4000	6000
Роликовый конический однорядный 2007915.	75	105	20	6000	4000
Примечание: d – внутренний диаметр подшипника, D – наружный диаметр подшипника, Q – допускаемая статическая нагрузка в кг., n – предельное число оборотов, об/мин.					

Предлагаемые подшипники обладают такой же или большей нагрузочной способностью, как и использованный шарикоподшипник 215, но имеют меньший наружный диаметр, что позволяет увеличить сечение и как следствие уменьшить напряжения в местах разрушений первого вида. Причем конический роликоподшипник предпочтительней для узлов, подвергающихся как радиальным, так и осевым ударным нагрузкам /3/.

Кроме того, следует уделить внимание конструктивным элементам, снижающим концентрацию напряжения, таким как конические сопряжения ступенчатых участков и галтели, пересмотреть конструкцию, распределяя жесткость равномерно по сечению, исключая ступенчатые участки.

Для устранения второго вида разрушений можно рекомендовать выполнение ребер А в плоскости сопряжения ударной части коромысла с остальным телом, как показано на рис. 8.

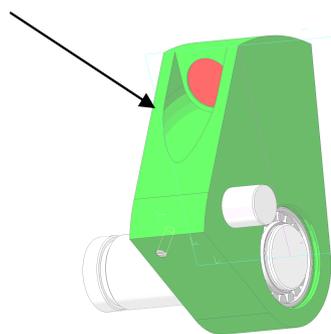


Рис. 8. Коромысло с ребрами

По четвертому виду разрушений необходимы специальные исследования влияния величины натяга при запрессовывании бойка, режимов термообработки и выбора материала на его долговечность.

В следующем цикле испытаний будет использоваться новый экскаватор ЭО-2621 («Амкадор» 702В), гидросистема которого позволяет увеличить частоту ударов более 4 Гц, следовательно, и энергию удара. Поэтому необходимо учитывать увеличение действующих сил и реакций этих сил на элементы конструкции.

Так как увеличение конструкционной прочности и долговечности коромысла можно также достичь подбором материалов с лучшими механическими свойствами и режимов их термообработки, то необходимо в дальнейшем уделить внимание вопросам выбора материалов и термической обработки как средства, позволяющего резко улучшать механические свойства материалов. Причем нарушение режимов термической обработки приведет к обратному результату. Например, в литературе /4/ отмечается влияние скорости и среды охлаждения на образование закалочных напряжений и развитие различных микродефектов в материале.

Список литературы

1. Абдраимов С., Абдраимов Э.С., Абдраимова Н.С. Исследование различных форм коромысел для ударных механизмов //Материалы конференции «Новые наукоемкие технологии и технологическое оборудование». – Бишкек: Технология, 2001. – С. 33-38.
2. Абдраимов С., Абдраимов Э.С., Абдраимова Н.С.. Анализ передаточных отношений шарнирно-четырёхзвенного ударного механизма с наибольшим шатуном //Материалы международной научной конференции «Технология и перспективы современного инженерного образования, науки и производства».– Бишкек: Кырг. техн. ун-т., 1999. – С. 9-13.
3. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: Справочник. – М.: Машиностроение, 1967. – 563 с.
4. Толстоусов А.В. Использование новых охлаждающих сред с регулируемыми скоростями охлаждения для закалки деталей //Сборник научных трудов международной конференции «Наука – техника - технология». – Бишкек: ИЦ АРХИ, 2007. – С . 354-360.