

С. Е. Алексеев, Б. Кубанычбек*

Пути повышения ресурса деталей погружного пневмоударника

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала» СО РАН, г. Новосибирск
Российская Федерация
*e-mail: Alex@misd.ru

Аннотация. Ударник в погружном пневмоударнике является наиболее нагруженной ударной деталью. От стойкости этой детали во многом зависит и общий ресурс машины. Приведены данные испытаний пневмоударника ПВ130. Произведен анализ его прочности. Для увеличения прочностных характеристик рассматривается выбор высокопрочных сталей и усовершенствование технологии термообработки. Показана возможность изготовления составного ударника, в котором его часть, для ликвидации опасных напряжений, выполнена из синтетического материала малой плотности.

Ключевые слова: ударник, напряжение, масса, энергия удара, мощность, термообработка, буровой инструмент

S. E. Alekseev, B. Kubanychbek*

Ways of extending life time of parts of down-the-hole air drill hammer

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
*e-mail: Alex@misd.ru

Abstract. The piston of a down-the-hole air drill hammer is the most loaded percussion part. The durability of this part governs the life time of the machine in many ways. The article describes the test data of air drill hammer PV130. The strength of the machine is analyzed. With a view to enhancing the machine strength, a set of high-resistance steels is reviewed, and the improvement of thermal treatment technologies is addressed. The manufacture of a compound piston, with its part made of a synthetic material of low density to eliminate hazardous stresses is illustrated.

Keywords: piston, stress, mass, impact energy, capacity, thermal treatment, drilling tool

Введение

Бурение скважин - важное звено в технологической цепи добычи полезных ископаемых. В середине прошлого века разработана разновидность буровой техники – погружные пневмоударники, располагаемых непосредственно у забоя буримой скважины, что обеспечивает наилучшую передачу энергии удара к забою. Разрабатываются пневмоударники различной конструкции [1].

В ИГД СО РАН разработан погружной пневмоударник с камерой холостого хора, расположенной в середине ударника, между головной и хвостовой его ступенями [2] (рис. 1).

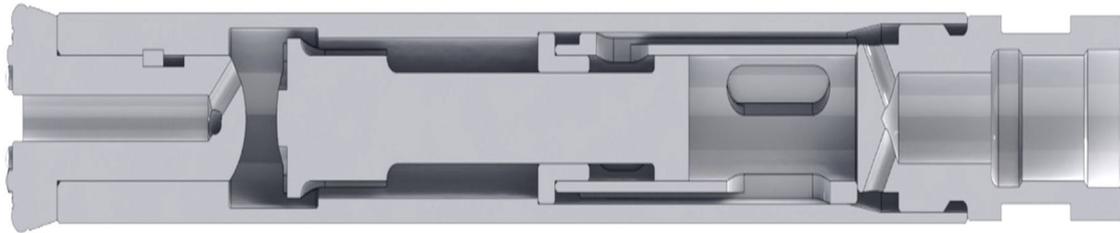


Рис. 1. Схема погружного пневмоударника с расположением камеры холостого хода в средней части ударника.

В отличие от традиционных конструкций, где данная камера располагается у переднего торца ударника, такое расположение позволяет делать камеру у переднего торца ударника камерой атмосферного давления, не требующей герметизации. Это позволяет создавать адаптеры под различный тип бурового инструмента, включая импортный (рис. 2).



Рис. 2. Пневмоударник с импортной коронкой SPEED Ø165 мм

Это расширяет возможность выбора бурового инструмента.

Объект исследования

По данной принципиальной схеме был разработан погружной пневмоударник ПВ130 (рис. 3)



Рис. 3. Экспериментальный образец погружного пневмоударника ПВ130

Техническая характеристика

Диаметры скважин, мм	134 – 152
Наружный диаметр корпуса, мм	120
Длина (без коронки) мм	1110
Масса (без коронки) кг	65
Масса ударника, кг	16
Рабочее давление, МПа	1,0 – 2,0 МПа
Энергия удара (при 2,0 МПа), Дж	700
Частота ударов (при 2,0 МПа), с ⁻¹	26
Ударная мощность (при 2,0 МПа), кВт	19,6
Расход воздуха (при 2,0 МПа), м ³ /мин	24

Преимущество данной схемы заключается еще в том, что ударник не имеет внутренних каналов, что дает возможность повышения прочности и позволяет создавать машины различного диаметра, использовать при работе на повышенном давлении энергоносителя [3,4].

Ударник пневмоударника ПВ130 был изготовлен из отечественной легированной стали 20Х2Н2А по ГОСТ 4543-71.

Испытания пневмоударника

На первом этапе работы производились на карьере «Борок» г. Новосибирск, где бурились взрывные скважины диаметром 152 мм глубиной 12 м по гранитам крепостью $f = 12 \dots 14$ по шкале Протоdjeяконова. Скважины значительно обводнены. Работа осуществлялась на импортном буровом станке повышенного давления ROC L8. Станок оборудован компрессором производительностью 21,2 м³/мин на давление 2,0 МПа. Отмечалась скорость бурения не менее зарубежных аналогов. Здесь было пробурено 300 пог. м скважин. В дальнейшем работа проводилась на карьерах Алтая. Бурение производилось с импортной буровой коронкой DHD350 [5].

После проходки в общей сложности 870 пог. м наблюдалась поломка ударника (рис. 4).

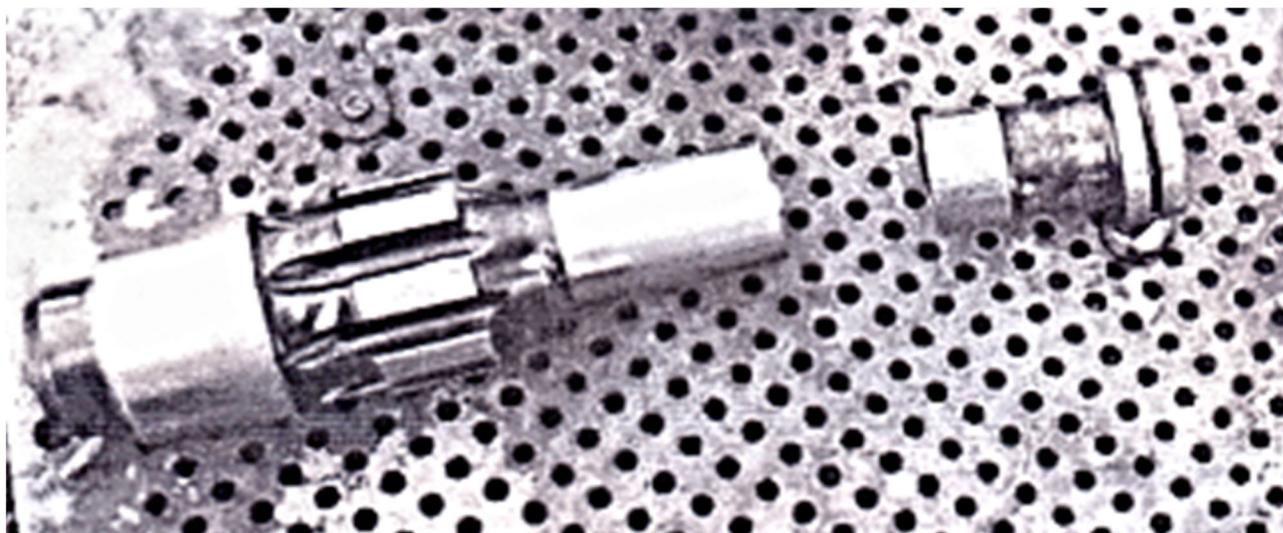


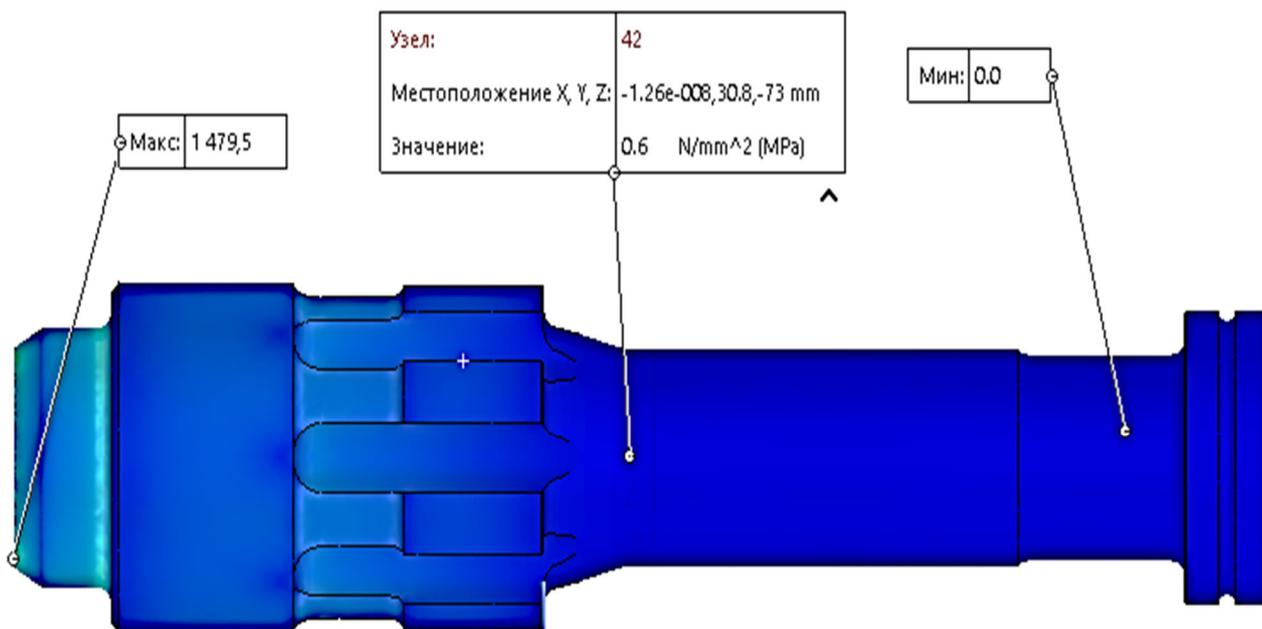
Рис. 4. Поломка ударника

Анализ прочности ударника

При анализе причин поломки было произведено численное моделирование возникновения напряжений в наиболее уязвимых местах ударника [6,7]. Некоторые зависимости представлены на рис. 5.

У передовых моделей пневмоударников с высокими показателями ударной мощности высокий ресурс работы обеспечивается применением новых высокопрочных материалов. Применяемые для изготовления ударников стали должны обладать высокой прочностью, значительным сопротивлением усталостному разрушению и поверхностному выкрашиванию и высокой износостойкостью поверхности. Для изготовления массивных ответственных деталей пневмоударников традиционно используют низкоуглеродистые легированные стали марок 12ХН3А или 12Х2Н4МА, упрочняемые цементацией с последующей закалкой и низким отпуском. Однако прочностные характеристики стали 12ХН3А не обеспечивают надежную работу ударников ударных машин высокого давления. Напряжения в объеме детали будут близки к пределу текучести (600 МПа), что может привести к разрушению стали по механизмам малоциклового усталости.

Предел текучести 785,6 МПа
Узел № 42



Название исследования: Испытание на ударную нагрузку 1-(По умолчанию)
Тип эпюры: Напряжение1

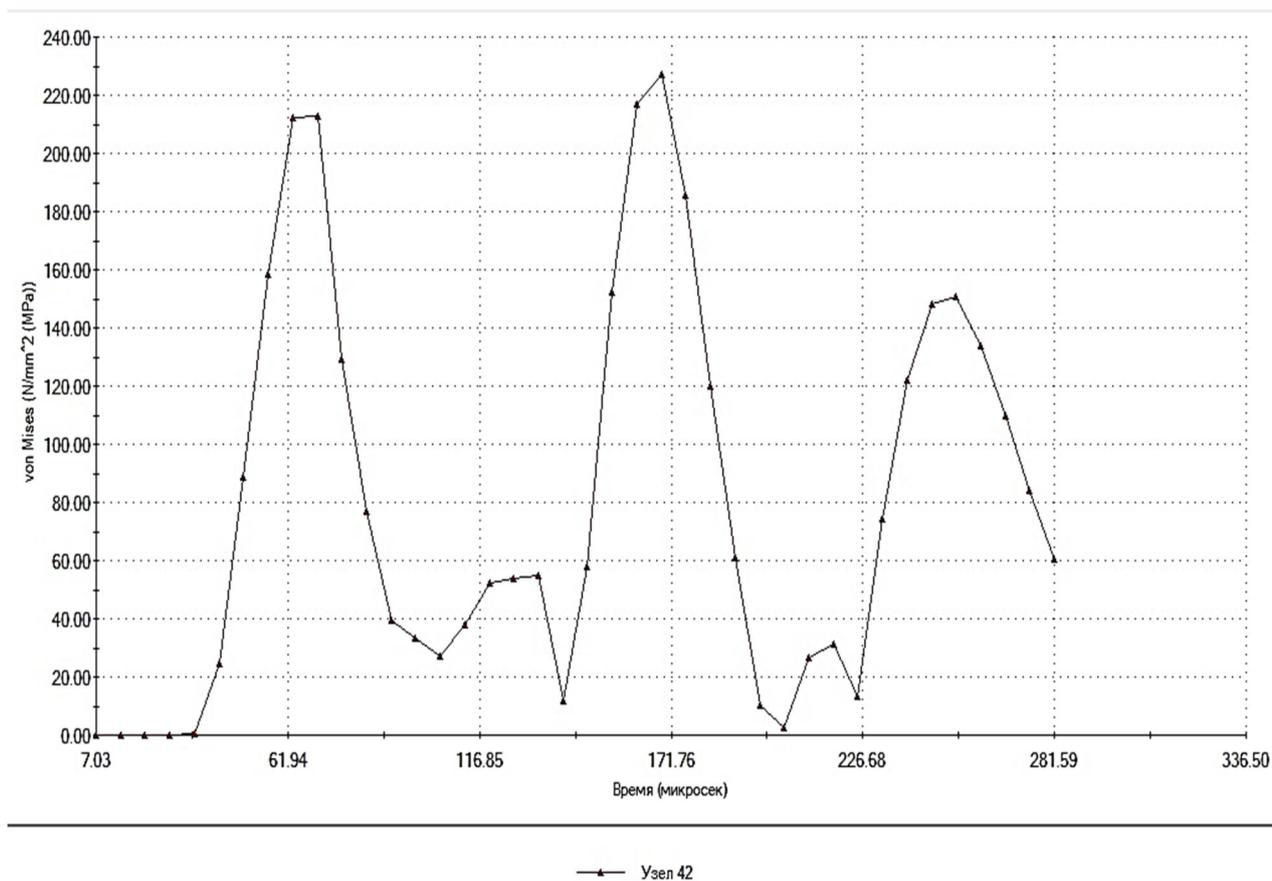


Рис. 5. Напряжения в теле ударника.

Пути повышения прочности ударника

Для изготовления новой модели пневмоударника ПВ130 была использована высококачественная сталь 40Х2Н2МА, термически упрочненная различными способами. В качестве базовой обработки была использована традиционная закалка в масле с последующим отпуском при температуре 400°С. Ряд образцов был упрочнен перспективной термомеханической обработкой со смешанным мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ), разработанной на кафедре материаловедения в машиностроении НГТУ. Суть обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитизации ее деформировании и охлаждении в расплаве солей. Горячая деформация приводит к измельчению зерен аустенита и способствует формированию мелкодисперсной структуры мартенсита и бейнита. При ВТММБ обработке мартенситное превращение характеризуется своей незавершенностью. Мартенситные кристаллы окружены аустенитом, обеспечивающим релаксацию внутренних напряжений в стали. Кроме того, мартенсит преимущественно образуется в микрообъемах, обедненных углеродом и обладающих повышенной температурой начала мартенситного превращения, что способствует образованию в структуре стали реечного мартенсита, характеризующегося по сравнению с двойникованным повышенной вязкостью разрушения. Принципиальное отличие разработанной технологии от известных технологических процессов высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) и термомеханической изотермической обработки с бейнитным превращением переохлажденного аустенита (ВТМИЗО) заключается в том, что в стали формируется мелкодисперсная смешанная структура, состоящая из нижнего бейнита и продуктов отпуска мартенсита [8-10]. Сталь, обработанная по технологии ВТММБ при сопоставимых показателях прочности, имеет более чем в два раза выше ударную вязкость и в шесть раз выше трещиностойкость по сравнению со сталью, упрочненной по традиционной технологии закалки с отпуском (таблица). Новый технологический процесс целесообразно применять для упрочнения поковок деталей ударных машин, изготавливаемых с использованием технологии горячей объемной штамповки.

Механические свойства сталей после различных способов термического упрочнения

№	Марка материала	Производитель	Твердость HRC	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление σ_B , МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²	Долговечность, Цикл	Скорость роста трещины при $K=10$ МПа $\sqrt{\sqrt{m}}$, 10^{-7} м/цикл
1	40ХН2МА (закалка и отпуск)	ИГД	45	1267	1444	48	86400	1,5
2	40ХН2МА (ВТММБ)	ИГД	45	895	1302	112	500700	0,2
3	30Х2Н3МА	Atlas Copco	44	1044	1579	89	62400	1

Для изготовления тяжело нагруженных деталей ударных машин целесообразно использовать среднеуглеродистые легированные стали, закаленные и отпущенные до твердости HRC 44...48. Если в цикле производства деталей возможно использование операции горячей объемной штамповки, то наиболее эффективным является технологический процесс высокотемпературной термомеханической обработки с мартенсито-бейнитным превращением аустенита (ВТММБ) который позволяет обеспечить высокую прочность, ударную вязкость и трещиностойкость получаемых поковок.

Другой путь увеличения прочности состоит в ликвидации причин возникновения поломок – значительных напряжений в части детали. В качестве примера, образец ударника данной конструкции выполнен составным [11,12] (рис. 6). Шейка ударника и хвостовая ступень изготовлена из капролона, головная массивная часть из легированной стали. Физико-механические свойства капролона позволяют легко выдерживать статические нагрузки, возникающие при работе пневмоударника, а в момент удара, ввиду малой инертности и упругости материала, значительных напряжений не возникает. Плотность капролона в 7 раза меньше плотности стали.

Это может быть использовано и для облегчения, в случае необходимости, общей массы ударника при работе на низком давлении энергоносителя.



Рис. 6. Составной ударник

Заключение

Ударник наиболее ответственная ударная деталь пневмоударника. Во многом его стойкость лимитирует ресурс пневмоударника. Однако, это не самая сложная деталь, ее стоимость много меньше стоимости всего пневмоударника, поэтому ударники могут входить в комплект оборудования в качестве запасных частей. Но это не снимает проблему увеличения стойкости ударника.

Для этого могут быть использованы более высокопрочные стали, с усовершенствованной технологией термообработки.

Еще путь повышения стойкости ударника — это ликвидация высоких напряжений в части детали. Для этого ударник может быть выполнен составным, где подверженная поломки шейка ударника и задняя ступень, изготавливается из капролона, имевшего малую плотность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин. Москва. Недра. 1968.
2. Патент. РФ № 2090730. Погружной пневматический ударный механизм / С.Е. Алексеев // Оpubл. в БИ – 1997. - № 26.
3. Репин А.А., Смоляницкий Б.Н., Алексеев С.Е., Попелюх А.И., Тимонин В.В., Карпов В.Н.. Погружные пневмоударники высокого давления для открытых горных работ. //ФТПРПИ. – 2014. - № 5.-С.157-167
4. Репин А.А., Алексеев С.Е. Создание пневмоударников для работы на повышенном давлении энергоносителя // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. III. Машиноведение. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010. –С.61-70.
5. Тимонин В.В., Алексеев С.Е., Кокоулин Д.И. Испытания импортзамещающих погружных пневмоударников высокого давления. / Международная научная конференция ИНТЕРЭКСПО ГЕО – СИБИРЬ – 2019, т 2 № 5, Новосибирск, 2019 С. 57 -66.
6. Шахторин И.О. Доводка машин ударного действия при помощи современного программного обеспечения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017.Т.4. № 1. С. 72-77.
7. Ощепков В.С. Компьютерное моделирование рабочего процесса погружного пневмоударника П-110 // ГИАБ. Москва 2018. № 7. С. 131-138.
8. Репин А. А., Алексеев С. Е., Попелюх А. И. Методы повышения надежности деталей ударных машин -ФТПРПИ. – №4. – 2012- С. 94–101]
9. Попелюх П. А., Никулина А.А., Попелюх. А. И. Влияние внешней среды на показатели надежности деталей горных машин, работающих в условиях динамического сжатия. Научный вестник НГТУ-1013-№ 4(53) С 214-229.
10. Попелюх П. А., Попелюх А. И., Юркевич М. Р. Комбинированная термомеханическая обработка стали с мартенсито-бейнитным превращением аустенита. Обработка металлов. №2 2013.
11. Пат. 2343266 РФ: МПК7 E21B 4/14 Погружной пневмоударник. / А.А. Репин, С.Е. Алексеев, Г.А. Пятнин; ИГД СО РАН. - № 2007124972/03; заявл. 02.07.2007; опубл. 10.01.2009 в Бюл. №1
12. Полезн. модель 121854 РФ. Погружной пневмоударник. / А.А. Репин, С.Е. Алексеев, В.Н. Карпов; ИГД СО РАН. - № 2012118740/03; заяв. 04.05.2012; опубл. 10.11.2012 Бюл. №31.

© С. Е. Алексеев, Б. Кубанычбек, 2024