

УДК 621.924.91

Е. Л. КОРОТКИХ

### УПРОЧНЕНИЕ БУРОВЫХ ШТАНГ ДРОБЕСТРУЙНЫМ СПОСОБОМ

При перфораторном бурении имеют место поломки буровых штанг, изготовляемых из шестигранной горячекатаной стали марок 55С2, 30ХГСФА, 12ХНЗА, 30ХМА, 28ХГНЗМ, 40Х2АЮФ и др. Штанги ломаются в зонах бурта, хвостовика, конусной части, а также по длине основной части шестигранника. Наиболее частые поломки возникают в зоне бурта, получаемого горячей высадкой на бурозаправочных станках. Установлено, что продолжительность работы штанги обычно не превышает 6–12 ч [2]. Поломки штанг носят явно выраженный характер усталостного разрушения. Это наиболее часто встречающийся вид разрушения деталей, работающих в условиях повторяющихся (знакопеременных или знакопостоянных) нагрузок. Циклически изменяющиеся напряжения, значительно меньшие предела прочности материала, приводят к усталостному разрушению практически любых деталей, причем процесс разрушения начинается, как правило, с поверхности детали в зонах наличия дефектов конструктивного (выточки, галтели, пазы, отверстия, канавки, малые радиусы сопрягаемых поверхностей и др.) или технологического (термообработка, наплавка, механическая обработка и др.) происхождения. Ресурс таких деталей определяется циклической прочностью (пределом выносливости) материалов, из которых они изготовлены. Для легированных сталей, из которых обычно изготавливаются буровые штанги, предел выносливости составляет 350 МПа, который достигается уже при  $10^6$  циклов нагружения (примерно 10 ч работы перфоратора). Если в ударном импульсе величина напряжений превосходит предельные усталостные напряжения, то штанга ломается через указанное время в ослабленной зоне.

Для изучения причин достаточно быстрого разрушения буровых штанг и разработки оптимальных технических решений, повышающих их долговечность, на кафедре конструирования горных машин и технологии машиностроения Санкт-Петербургского горного института была проанализирована поверхностная твердость по длине буровых штанг (рис. 1), изготовленных по стандартной технологии [4]. Измерение твердости производилось на приборе ТК-2М. Установлено, что наибольшее снижение поверхностной твердости (примерно в 2 раза по сравнению с твердостью основной части штанги) имеет место в зоне высаженного бурта, что объясняется местным нагревом при выполнении операции высадки и появлением зоны крупнозернистой структуры металла. Эта зона граничит с мелкозернистой зоной хвостовика после его закалки и остальной частью штанги с

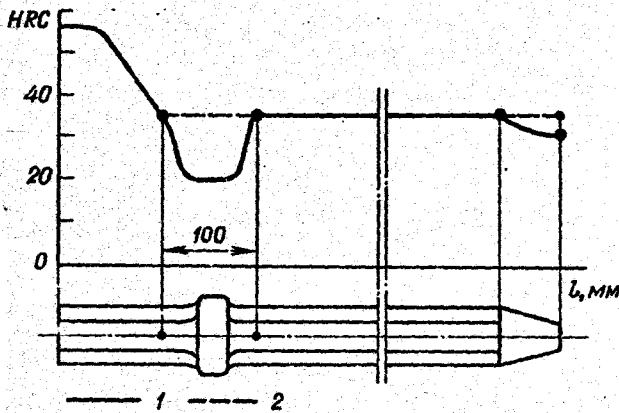


Рис.1. Распределение твердости по длине буровой штанги до упрочнения (1) и после упрочнения ППД (2)

нормальной зернистостью. Именно эти пограничные области и являются зонами интенсивного разрушения при циклическом нагружении. Некоторое снижение поверхностной твердости наблюдается в конусной части после обработки резанием.

Существенно повысить сопротивляемость усталостному разрушению можно различными технологическими способами. Наиболее эффективным и доступным из них является поверхностное пластическое деформи-

рование (ППД) обкаткой роликами или шариками (для упрочнения деталей, имеющих форму тел вращения) и обработкой дробью (для деталей сложной формы) [9].

В технической литературе широко освещен производственный опыт упрочнения различных деталей методами ППД. Так, долговечность конических зубчатых колес конусных дробилок после обкатки роликом повышается в 3-10 раз, а цилиндрических колес экскаватора ЭКП-4,6 — в 3-4 раза. После обкатки роликом прекратились поломки резьбовых участков при эксплуатации турбобуров [8]. Дробеметный наклеп цепей угольных комбайнов и скребковых конвейеров повысил их долговечность в 1,6-1,8 раза. Дробеструйный наклеп пружин угольных комбайнов повысил их эксплуатационную надежность в 2 раза. После обработки дробью долговечность пружин грузовых вагонов и рессор автотраспорта повысилась в 5-6 и 10 раз соответственно [10]. После дробеструйной обработки срок службы коленчатых валов увеличивается в 9 раз, спиральных пружин — в 14 раз, а предел выносливости обработанных дробью торсионных валов вырос с 400 до 750 МПа [1]. Широко используется ППД и в зарубежной практике [6].

Этот эффект объясняется тем, что в процессе ППД происходит упрочнение поверхностного слоя металла и возникают остаточные напряжения сжатия, благоприятно влияющие на повышение сопротивляемости усталостному разрушению. Упрочнение металла связано в основном с увеличением плотности дислокаций. Наиболее интенсивно упрочняются менее прочные низкоуглеродистые стали: на 100 % по сравнению с исходной твердостью. У закаленных легированных сталей после ППД твердость повышается на 10-50 % [7]. Остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое детали после ППД являются следствием неравномерности пластической деформации, приводящей к умень-

нию плотности металла. Это связано с нарушениями кристаллической решетки, вызванными смещениями атомов в узлах, дроблением блока мозаик и т.д. (при поверхностной закалке ТВЧ возникновение остаточных напряжений связано с превращением аустенита в мартенсит с менее плотной структурой). Установлено, что величина остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях после ШЦД может достигать 700 МПа [7].

В соответствии с отмеченными особенностями ШЦД в качестве упрочняющей технологии, повышающей долговечность буровых штанг, принята дробеструйная обработка зоны высадки бурта [3].

Величина наклепа и уровень остаточных напряжений в поверхностном слое материала штанги при дробеструйной обработке зависит от диаметра дроби  $d$ , скорости дроби при соударении с поверхностью детали  $v$ , направления дроби на поверхность  $\alpha$ , исходной твердости материала в зоне обработки НВ, времени обработки  $t$ , а также от концентрации и качества дроби. В любом случае силовые параметры процесса обработки должны отвечать условию

$$\sigma_T \leq \sigma_S < \sigma_B,$$

где  $\sigma_T$  и  $\sigma_S$  - соответственно пределы текучести и прочности материала штанги до упрочнения, МПа;  $\sigma_B$  - действующие напряжения в зоне соударения дроби с поверхностью металла, МПа.

Глубина наклепа в миллиметрах

$$h = k \frac{d v \sin \alpha}{\sqrt{HB}},$$

где  $k$  - коэффициент, зависящий от качества и концентрации дроби в потоке.

Эта формула не учитывает влияния времени обработки на глубину упрочнения. Значение поправочного коэффициента для различных типов форсунок и марок дроби необходимо уточнять опытным путем. При  $d \leq 2,0$  мм,  $v = 100-150$  м/с (для форсунок эжекторного типа);  $\alpha = 30-90^\circ$  и  $t \leq 10$  мин глубина наклепа составляет 0,2-0,4 мм.

Параметры дроби, используемой при дробеструйной обработке, следующие:

Марка дроби	ДСЛ, ДСК	ДЧЛ, ДЧК	ДСР
Плотность, т/м <sup>3</sup>	7,4	7,2	7,8
Насыпная масса, т/м <sup>3</sup>	4,23-4,75	3,36-4,64	4,20-4,80

Примечания. 1. Обозначения в марке дроби: Д - дробь, С - стальная, Ч - чугунная, Л - литая, К - колотая, Р - рубленая.  
2. Твердость указанных марок дроби 54-62 НRC.

Наибольшей износостойкостью (5000 циклов) обладает дробь марки ДСР.

Концентрация дроби в потоке, представляющая собой отношение массы воздуха к массе дроби, зависит от многих факторов (конструкции форсунки, размеров дроби, давления воздуха и др.) и меняется обычно от 0,8 до 4,0.

Расход дроби в килограммах (см. таблицу)

$$Q = k \frac{l d \sqrt{HB}}{v \sin \alpha},$$

где  $l$  - расстояние от среза сопла до поверхности обрабатываемой детали, оптимально  $l = 150+250$  мм, причем меньшие значения для более твердых материалов.

Расходы дробы и сжатого воздуха в зависимости от давления и диаметра сопла

Давление воздуха, МПа	Диаметр сопла, мм				
	8	10	12	15	20
0,4	120/150	160/210	210/280	280/380	420/480
0,5	140/180	180/260	230/330	310/450	460/560

Примечание. В числителе - расход дробы, кг/ч, в знаменателе - расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч.

Скорость дробеструйной обработки штанги в метрах в минуту

$$v_{об} = (\pi D n) / 1000 ,$$

где  $D$  - диаметр обрабатываемой поверхности штанги, мм;  $n$  - частота вращения штанги, мин<sup>-1</sup>.

По оптимальной величине  $v_{об} \leq 6$  м/мин определяется частота вращения и проектируется привод вращения шпинделя.

С учетом изложенного на кафедре разработана, изготовлена и внедрена в производство специализированная дробеструйная установка для поверхностного упрочнения буровых штанг [5].

Механизированная дробеструйная установка предназначена для поверхностного упрочнения буровых штанг в зоне бурта методом поверхностного пластического деформирования дробью и относится к аппаратам всасывающего типа, в которых транспортирование дробы из бункера осуществляется за счет эжекции при прохождении сжатого воздуха.

Установка обеспечивает заданное повышение долговечности буровых штанг путем устранения поломок усталостного происхождения в зоне высадки бурта при условии отсутствия в этой зоне трещин, вмятин, заковок и других механических повреждений, а также при отсутствии несоосности промывочного отверстия.

Установка используется для упрочнения полностью изготовленных (включая термообработку) буровых штанг шестигранного сечения любой длины из любых сталей. Установка эксплуатируется в помещении с обязательным ее подключением к вытяжной вентиляции и состоит из следующих основных узлов (рис.2): камеры; механизма закрепления и вращения штанги; форсунки эжекторного типа.

Камера 9 представляет собой сваренную из листа конструкцию, футерованную резиной 14 и имеющую крышку 15 для загрузки дробы, крышку 16 для осмотра футеровки, патрубок 10 для крепления вытяжной вентиляции, отверстие

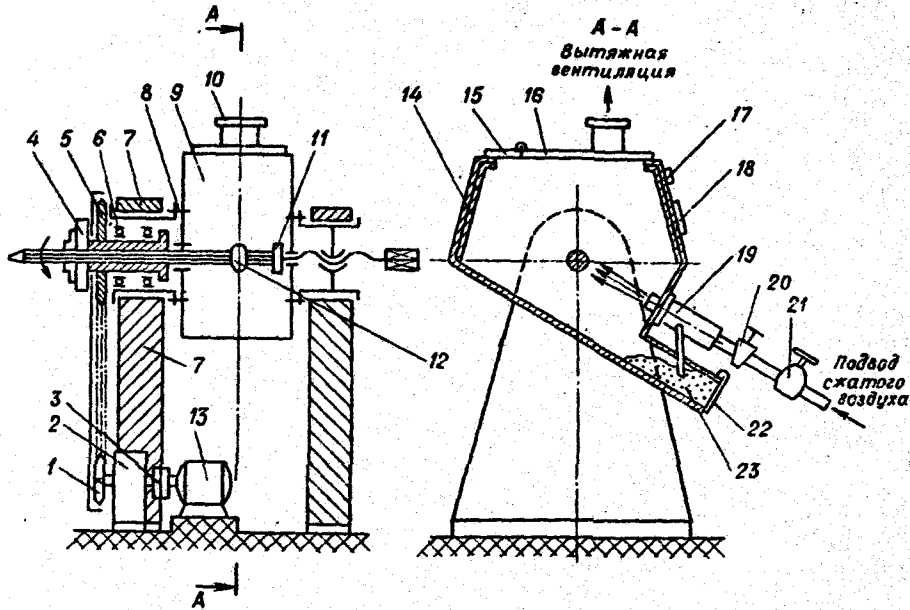


Рис.2. Схема дробеструйной установки для упрочнения буровых штанг

тие с заглушкой 17 для размещения осветительного плафона, смотровое окно 18, фланец для крепления форсунки 19, крышку 22 для выгрузки дроби 23.

К камере крепятся фланцы 8, которыми она устанавливается на сварные опоры 7. Такая конструкция крепления опор позволяет регулировать наклон камеры для обеспечения оптимального перемещения дроби любой формы (литой, колотой, рубленой). Крышки 15 и 16 закрепляются защелками.

Механизм закрепления и вращения штанги 12 состоит из трехлапчатого самоцентрирующего патрона со шпинделем 4, установленным в шарикоподшипниках 6. Вращение на шпиндель передается от электродвигателя 13 через упругую втулочно-пальцевую муфту 3, червячный редуктор 2, цепную передачу 5, закрытую кожухом. Движение штанги ограничивается регулируемым упором 11.

Форсунка эжекторного типа 19 служит для подачи дроби из бункера-накопителя на обрабатываемую зону штанги с помощью сжатого воздуха. Форсунка снабжена узлом перемещения воздушного сопла вдоль оси для регулировки эжекции. Воздушное и выходное сопла - сменные. На трубопроводе подвода сжатого воздуха имеется кран 20, который служит для отключения воздуха при окончании обработки штанги (после отключения двигателя), а также запорный вентиль 21 для регулировки расхода подаваемого воздуха в период настройки форсунки.

Время обработки устанавливается с помощью таймера, подключенного в цепь управления электродвигателя.

### Техническая характеристика установки:

Максимальный диаметр бурта штанги, мм	40
Максимальный размер шестигранника, мм	25
Длина обрабатываемой зоны, мм	100
Длина штанги, мм	Не ограничена
Расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности, мм	200
Скорость вылета дроби, м/с	100
Время обработки одной штанги, мин	5
Частота вращения штанги, мин <sup>-1</sup>	25
Мощность электродвигателя вращения штанги, кВт	0,37
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	4-5
Давление воздуха, МПа	0,4-0,5
Расход дроби при замкнутом цикле обработки, кг/мин	4
Диаметр дроби, мм	1,4
Марка дроби	ДЧЛ-1,4
Габариты, мм	800 x 1000 x 1500
Масса, кг	200

Установка является специализированной, предназначенной для упрочнения буровых штанг дробью методом поверхностного пластического деформирования, и не имеет аналогов по схеме расположения основных узлов и их конструктивному оформлению.

Обработка буровой штанги на установке, обеспечивая увеличение поверхностной твердости в зоне бурта штанги с 15 до 30 НРС на глубину 0,2-0,4 мм от поверхности и создание на поверхности остаточных напряжений сжатия, позволяет повысить ее долговечность в 6-8 раз за счет существенного снижения поломок в зоне бурта. Установка внедрена на одном из горно-обогачительных комбинатов слюдодобывающей промышленности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белкин М.Я., Венжега А.С., Сологуб В.А. Повышение надежности деталей машин. Донецк: Донбасс, 1964. 97 с.
2. Иванов К.И., Варич М.С., Дусев В.И. и др. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1974. 407 с.
3. Коротких Е.Л. Технологические способы повышения долговечности деталей при ремонте горного оборудования / Ленинградский горный ин-т. Л., 1986. 44 с.
4. Коротких Е.Л., Корчемкин А.Е. Прогрессивная технология восстановления быстроизнашивающихся деталей при ремонте горных машин / Ленинградский горный ин-т. Л., 1988. 95 с.
5. Коротких Е.Л. Дробеструйная установка для упрочнения буровых штанг // Информационный листок № 905 ЛИПТИ. Л., 1991. 4 с.

6. Кудрявцев И.В. Поверхностный наклеп для повышения прочности и долговечности деталей машин. М.: Машиностроение, 1969. 100 с.
7. Папшев Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении (методы поверхностно-пластического деформирования). М.: Машиностроение, 1986. 49 с.
8. Повышение циклической прочности материалов методами поверхностного пластического деформирования / Под ред. В.И.Гладковского / Пермский политехнический ин-т. Пермь, 1974. 120 с.
9. Саверин М.М. Дробеструйный наклеп. Теоретические основы и практика применения. М.: Машгиз, 1953. 312 с.
10. Горбило В.М. Методы обработки поверхностным пластическим деформированием / Пермский политехнический ин-т. Пермь, 1975. 48 с.