

И.А. Волежанин, В.Н. Макаров, Д.И. Чуркин, Н.В. Макаров

ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ МАТРИЦ ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ

Установлено, что Гидравлический привод способен создавать многократно большие усилия, управляющая аппаратура обеспечивает практическую герметичность силовых узлов, модуль упругости рабочего тела превышает 10^3 МПа. Для двигателей поступательного движения характерны простота и малые габариты, что делает эффективным применение плунжерных гидроцилиндров. Гидроцилиндр в таком исполнении не нуждается в собственном корпусе, роль гильзы в данном случае играют стенки полости. Предложено в состав силового узла позиционера с электромеханическим приводом включать самотормозящую пару винт-гайка скольжения. Установлены достоинства и недостатки этого преобразователя движения, так же как и самого электромеханического привода. Предложенный способ получения изделий из стеклопластика отличается возможностью изготавливать объемные изделия сложной геометрической формы без технологических оснасток, что экономически целесообразно в условиях единичного производства, что наиболее характерно для ремонтных предприятий. Предложена математическая модель расчета избыточного давления, необходимого для формирования изделий различной формы. Разработаны и обоснованы варианты приводов позиционеров. Показано высокая экономическая эффективность применения данной технологии для проведения ремонтных работ в условиях мелкосерийного производства.

Ключевые слова: объемное формование, пуансон, позиционеры, формообразующая оснастка, композиты, стеклопластик, горное оборудование.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-172-178

Анализ эксплуатации стационарного горного оборудования показал высокий уровень трудозатрат на ремонт узлов и агрегатов.

Недостатком широко применяемых технологий для получения композитных деталей стационарного горного оборудования в условиях ремонтных предприятий является необходимость в технологической оснастке. Изготовление формообразующей оснастки экономически целесообразно в условиях серийного и массового производства [1–5]. В данной статье предложена технология с ис-

пользованием матрицы переменной кривизны (МПК) (рис. 1).

Сложности разработки и внедрения технологии с использованием МПК заключаются в следующем:

- отсутствие однозначно установленных и утвержденных нормативными документами способы расчета деталей из композитов на прочность и жесткость;
- ассортименте серийно выпускаемого технологического оборудования для производства изделий из композитов крайне узок и не охватывает всех известных методов изготовления.

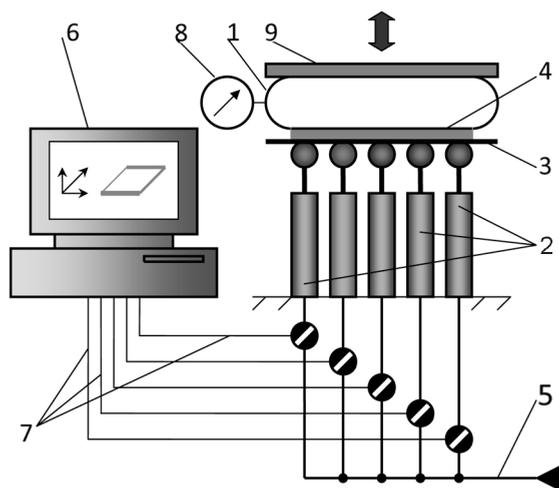


Рис. 1. Схема установки для объемного формования на матрице переменной кривизны

• слабая на текущий момент изученность свойств композитных материалов, следствием чего, в частности, является абстрактный характер, чрезмерная обобщенность и упрощенность приводимых в технической литературе рекомендаций по прочностным расчетам.

Для разработки технологии применения МПК принципиально важно разделить ремонтные комплекты горного оборудования, как объекты проектирования, на узлы и детали сходные конструкции и подобные условия нагружения, а именно:

- тонкостенные оболочки (обечайки), нагруженные преимущественно собственным весом;
- ответственные высоконагруженные узлы;
- емкости, находящиеся под внутренним давлением газообразной среды;
- баки и бункеры для жидких сред и сыпучих материалов;
- трубопроводы.

Расчет пространственных структур до настоящего времени связан с большими трудностями и неприменим на практике. Наиболее перспективным для построения методик расчета ремонтных комплектов горного оборудования

представляется способ приближенного расчета, основанный на допущении, что вся нагрузка воспринимается несущей конструкцией.

Технологическая система для формования на МПК (рис. 1) содержит пуансон 1 в виде баллона из эластичного материала, матрицу, образованную позиционерами 2, неподвижно установленными в несколько рядов на основании, упруго-деформируемую прокладку 3, привод позиционеров 5 и управляющее устройство 6, в виде персонального компьютера (ПК). Армирующий материал 4 композита расположен между пуансоном 1 и прокладкой 3. ПК связан линиями 7 с исполнительными блоками системы управления позиционерами [4, 5].

Воздействие пуансона на формуемый слой 4 обеспечивается избыточным давлением воздуха в баллоне, которое контролируется манометром 8. Оно создается либо подачей сжатого воздуха в баллон от компрессора, либо, как показано на рис. 1, действием нажимной плиты 9 на герметично закрытый баллон при ее опускании.

В процессе функционирования технологической системы концевые точки на головках штоков позиционеров при-

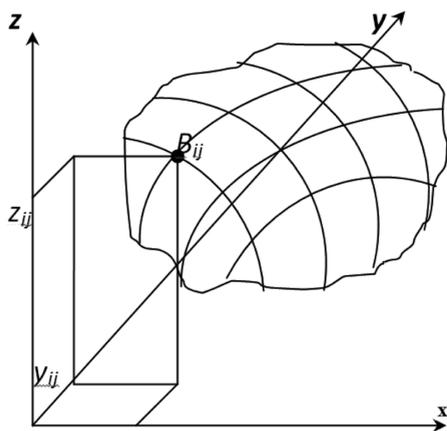


Рис. 2. Графическая топология положения концевых штоков позиционеров

надлежат одной поверхности (рис. 2). Пусть номер ряда, в котором расположен позиционер, $i = 1 \dots n$, а номер позиционера в ряду $j = 1 \dots k$, тогда совокупность точек объемом $n \times k$ определит топологию поверхности.

На рис. 2 точка B_{ij} соответствует концевой точке головки произвольно взятого позиционера и принадлежит поверхности M . Смысл координат точки B_{ij} : пара (x_{ij}, y_{ij}) есть «привязка» позиционера к основанию; z_{ij} — высота над некоторой нулевой плоскостью xOy . Если в качестве нулевой принята плоскость расположения концевых точек полностью вдвинутых штоков, то z_{ij} — перемещение, которое должен обработать позиционер номер (i, j) .

Одинаковые для всех позиционеров значения координаты z означают, что будет отформована плоскость, как это показано на рис. 1.

Для формования изделия со сложной поверхностью ее математическое описание закладывается в ПК. Описание по своей сути представляет собой совокупность значений координат z_{ij} , каждое из которых принадлежит конкретному позиционеру.

В исходном положении штоки позиционеров полностью вдвинуты, арми-

рующий слой пропитан связующим, силовое воздействие плиты 9 на пуансон отсутствует.

При включении привод позиционеров, начинается выдвигание их штоков. Текущее значение координаты z каждого позиционера контролируется системой управления.

По достижении координатой величины, заданной математическим описанием поверхности, ПК по линии 7 отдает сигнал на исполнительный блок соответствующего позиционера, отключающий данный позиционер от привода, в результате чего его шток останавливается. В момент реализации заданной совокупности z будут остановлены все позиционеры, и прокладка 3 примет форму поверхности, заложенной в ПК.

Для расчета на прочность позиционеров и рабочих усилий приводных механизмов гидро- либо пневмоприводов получены выражения избыточного давления p , необходимого для формования сферической и цилиндрической впадин поверхности с учетом упругости оболочки баллона [8–10]:

$$p = p_{\text{тех}} + \frac{\delta_0 a^2 E \left(\frac{R}{a} \arcsin \frac{a}{R} - 1 \right)}{R^2 (R - \sqrt{R^2 - a^2}) (1 - \nu)} \quad (1)$$

$$p = p_{\text{тех}} + \frac{\delta_0 E}{R^2} \left(R - \frac{a}{\arcsin \frac{a}{R}} \right) \quad (2)$$

где $p_{\text{тех}}$ — расчетное давление прижатия формуемой заготовки, заданное технологией изготовления; δ_0 — начальная толщина оболочки; a, R — ширина и радиус впадины соответственно, E — модуль упругости формуемого материала.

Математическое моделирование метода формования на МПК осуществлено в среде инженерного анализа АРМ

WinMachine посредством составления программы, позволяющей создавать изображение заданной поверхности и являющейся прообразом управляющей программы в промышленной технологической установке с АСУ.

Программа позволяет смоделировать сложную поверхность путем построения одним из двух способов: объемным и точечным. При наличии на штоках позиционеров сферических оголовков, радиус которых имеет один порядок величины с шагом позиционеров, поверхность строится объемным способом. Точечный способ используется при малом радиусе оголовков. В этом случае радиус считается равным нулю, и контакт оголовка с формуемым материалом вырождается в точку [11–14].

При объемном методе формирования поверхности получается как совокупность фрагментов сферических, цилиндрических и плоских частей.

Проведенные экспериментальные исследования и измерения макронеровностей на поверхностях образцов ремонтных комплектов горного оборудования позволили накопить богатый статистический материал, позволивший установить закономерности зависимости частоты позиционеров на единицу площади и качество рабочей поверхности.

Указанное позволило разработать технические средства обеспечения чистоты и качества наружных и внутренних поверхностей изделий ремонтных комплектов при формировании их на МПК.

Проведенная работа позволила создать экспериментальную основу получения теоретических зависимостей значений макронеровностей от конструктивных параметров МПК, а также получить соответствующие критерии подобия, пригодные для определения конструктивных параметров МПК по заданным допустимым значениям макронеровностей поверхности ремонтного комплекта.

Высокое качество изготовления детали предполагает использование МПК с достаточно большим количеством позиционеров на единицу площади. Установлено существование оптимального шага t по критерию минимума числа позиционеров при допустимых размерах дефектов формы поверхности в диапазоне $t = 12–50$ мм. Причем оптимальный шаг увеличивается в зависимости от роста количества подлежащих ремонту деталей [15].

Выполненное физическое моделирование процесса формования на МПК ремонтных комплектов горного оборудования с достаточной точностью подтвердило работоспособность предложенной технологии повышения ремонтпригодности горного оборудования. Внедрение МПК на ряде ремонтных предприятий показало их высокую эффективность, позволив снизить затраты на ремонт узлов горного оборудования более чем на 15%.

Выводы

- Выполнено физическое и математическое моделирование предложенного способа повышения ремонтпригодности горного оборудования на базе использования матриц переменной кривизны.

- Построена математическая модель формования на МПК в программе Win Machine, программный продукт пригоден для построения геометрии поверхностей сложной конфигурации в трехмерной системе координат.

- Разработана технология и экспериментальная установка для физического моделирования способов формования на МПК.

- Изготовлены опытно-промышленные образцы стационарного оборудования с использованием композиционных материалов на базе установок формования МПК, подтвердившие эффективность предложенной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодников Ю. В. Промышленные композиты // Композитный мир. — 2012. — № 5. — С. 48–54.
2. *Brishan M., Decaix G., Ferreira N., Robinson H.* Is there hidden treasure in the mining industry? McKinsey & Company, 2015. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/is-there-hidden-treasure-in-the-mining-industry> (accessed: 15.09.2017).
3. *Cetindamar D., Phaal R., Robert D.* Technology Management: Activities and Tools. 2nd ed. New York: Palgrave Macmillan, 2016. 256 p.
4. *Van Dam N., Marcus J.* Organization and Management: An International Approach. Hoboken: Taylor and Francis, 2012. 502 p.
5. *Волежанин И. А., Макаров В. Н., Холодников Ю. В.* Аддитивные технологии использования композитов при производстве горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 6. — С. 32–37.
6. *Холодников Ю. В., Таугер В. М.* Исследования процессов формования композитов на матрице переменной формы // Композитный мир. — 2013. — № 6 — С. 60–64.
7. *Холодников Ю. В., Альшиц Л. И., Тарасян В. С.* Патент № 2513405 RU. Способ изготовления кожухобразных изделий из композитов. опубл. 17.04.2014. Бюл. № 12.
8. *Егоров О. Д., Подураев Ю. В.* Мехатронные модули. Расчет и конструирование: учебное пособие. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004. — 386 с.
9. *Таугер В. М.* Конструирование мехатронных модулей: учебное пособие. — Екатеринбург: УрГУПС, 2009. — 336 с.
10. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / Под ред. Дж. Любина. — М.: Машиностроение, 1988. — 584 с.
11. *Холодников Ю. В., Макаров Н. В., Макаров В. Н.* Промышленные композиты для инновационного развития горной промышленности / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник статей XIV Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». — 2016. — С. 372–378.
12. *Холодников Ю. В., Осинцев Ю. Г., Волежанин И. А.* К вопросу о развитии отрасли производства композиционных материалов на Урале // Национальная ассоциация ученых. — 2016. — № 5. — С. 63–68.
13. *Таугер В. М., Холодников Ю. В., Волежанин И. А.* Наполнители промышленных композитов / Наука России: цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам 11-й Международной научно-практической конференции. Ч. 3. — Екатеринбург: НИЦ «Л-Журнал», 2017. — С. 36–41. http://science-russia.ru/wp-content/uploads/2017/02/sr10.04.2017_r3.pdf
14. *Холодников Ю. В., Таугер В. М., Волежанин И. А.* Контроль качества изделий из композиционных материалов // Композитный мир. — 2016. — № 5. — С. 56–62.
15. *Грановский В. А., Сирая Т. Н.* Методы обработки экспериментальных данных. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 288 с. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Волежанин Иван Александрович*¹ — аспирант,

*Макаров Владимир Николаевич*¹ — доктор технических наук, профессор,

*Чуркин Денис Игоревич*¹ — студент,

*Макаров Николай Владимирович*¹ — кандидат технических наук, зав. кафедрой,

e-mail: mnikolay84@mail.ru,

¹ Уральский государственный горный университет.

I.A. Volegzhanin, V.N. Makarov, D.I. Churkin, N.V. Makarov

IMPROVEMENT OF MAINTAINABILITY OF MINING EQUIPMENT BASED ON USING FEMALE DIE OF VARIABLE CURVATURE

The analysis of stationary mining equipment operation shows that excessive man hours are spent for maintenance. Aimed at enhancement of operational effectiveness of mining machines, this study addresses a new method of shaping products made of composite material. The forming technology using the complete die is described. The applicability of electrical, hydraulic and pneumatic drives to forming a female die of variable curvature is discussed. Positioning elements with the electrical, hydraulic and pneumatic drives function as the process-execution modules of an automated control system. It is found that the positioning precision and the error offset are the highest with the hydraulic drive as the electric drive operates with delay while the pneumatic drive depends on the compressibility of gas. In the hydraulic drives, the specified efficiency is ensured by friction locking elements. The hydraulic gear can create many times higher forces, the control equipment ensures proofness of power packs, and the elastic modulus of the actuating medium exceeds 103 MPa. The progressive motion motors feature simplicity and small sizes, which facilitates application of plunger cylinders. Such cylinders need no individual housing, the barrel is made by the cavity and its walls in this case. It is suggested to add the assembly of the power pack of the positioning element with the electro-mechanical drive with the self-locking couple of screw–slide nut. The strengths and weaknesses of the self-locking couple as well as the electro-mechanical drive are determined. The method proposed for making products from glass fiber plastic enables manufacturing of volumetric products of complex geometry without production accessories, which is economically efficient for single-unit production typical of overhaul plants. The mathematical model for calculating excess pressure required for different geometry shaping is offered, and alternative drives are designed and substantiated for the positioning elements. The high economic efficiency of the proposed maintenance technology in terms of a short-run production is demonstrated.

Key words: volumetric forming, male die, positioning elements, shaping equipment, composites, glass fiber plastic, mining machines.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-172-178

AUTHORS

Volegzhanin I.A.¹, Graduate Student,

Makarov V.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

Churkin D.I.¹, Student,

Makarov N.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Head of Chair, e-mail: mnikolay84@mail.ru,

¹ Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia.

REFERENCES

1. Kholodnikov Yu. V. *Kompozitnyy mir*. 2012, no 5, pp. 48–54.
2. Brishan M., Decaix G., Ferreira N., Robinson H. *Is there hidden treasure in the mining industry?* McKinsey & Company, 2015. URL: <https://www.mckinsey.com/industry/metals-and-mining/our-insights/is-there-hidden-treasure-in-the-mining-industry> (accessed: 15.09.2017).
3. Cetindamar D., Phaal R., Robert D. *Technology Management: Activities and Tools*. 2nd ed. New York: Palgrave Macmillan, 2016. 256 p.
4. Van Dam N., Marcus J. *Organization and Management: An International Approach*. Hoboken: Taylor and Francis, 2012. 502 p.
5. Volegzhanin I.A., Makarov V.N., Kholodnikov Yu.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 6, pp. 32–37.
6. Kholodnikov Yu.V., Tauger V.M. *Kompozitnyy mir*. 2013, no 6, pp. 60–64.
7. Kholodnikov Yu.V., Al'shits L.I., Tarasyan V.S. *Patent RU 2513405*, 17.04.2014.
8. Egorov O.D., Poduraev Yu.V. *Mekhatronnye moduli. Raschet i konstruirovaniye: uchebnoye posobie* (Mechatronic modules. Calculation and design: Educational aid), Moscow, MGТУ «Stankin», 2004, 386 p.

9. Tauger V. M. *Konstruirovaniye mekhatronnykh moduley: uchebnoye posobie* (Designing of mechatronic modules: Educational aid), Ekaterinburg, UrGUPS, 2009, 336 p.

10. *Spravochnik po kompozitsionnym materialam: v 2 kn. Pod red. Dzh. Lyubina* (Reference book on composites: in 2 books, Lyubina Dzh. (Ed.)), Moscow, Mashinostroeniye, 1988, 584 p.

11. Kholodnikov Yu. V., Makarov N. V., Makarov V. N. *Tekhnologicheskoye oborudovaniye dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti. Sbornik statey XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Chteniya pamyati V.R. Kubacheka»* Process equipment for mining and oil and gas industry. Proceedings of XIV International Scientific-technical Conference: Lectures in Memory of V.R. Kubachek, 2016, pp. 372–378.

12. Kholodnikov Yu. V., Osintsev Yu. G., Volegzhanin I. A. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh*. 2016, no 5, pp. 63–68.

13. Tauger V. M., Kholodnikov Yu. V., Volegzhanin I. A. *Nauka Rossii: tseli i zadachi. Sbornik nauchnykh trudov po materialam 11-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ch. 3. (Science of Russia: Goals and Objectives. Proceedings of the 11th International Scientific-Practical Conference, part 3), Ekaterinburg, NITs «L-Zhurnal», 2017, pp. 36–41, http://science-russia.ru/wp-content/uploads/2017/02/sr10.04.2017_p3.pdf

14. Kholodnikov Yu. V., Tauger V. M., Volegzhanin I. A. *Kompozitnyy mir*. 2016, no 5, pp. 56–62.

15. Granovskiy V. A., Siraya T. N. *Metody obrabotki eksperimental'nykh dannykh* (Methods of processing of experimental data), Leningrad, Energoatomizdat, 1990, 288 p.

FIGURES

Fig. 1. Layout of volumetric shaping plant using a female die of variable curvature.

Fig. 2. Graphical layout of end stocks of positioning elements.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ГОРНЫХ МАШИН ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ ДОБЫЧИ РЕСУРСОВ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(№ 1119/04–18, 1123/04–18, 1124/04–18, 1125/04–18 от 12.02.2018; 8 с.)

Зюзин Борис Федорович¹ — доктор технических наук, профессор, e-mail: zbfu@yandex.ru,

Жигульская Александра Ивановна¹ — кандидат технических наук, доцент,

Жигульский Максим Александрович¹ — старший преподаватель, e-mail: hfr.drow@gmail.com,

Оганесян А.С.¹ — магистрант, e-mail: ttmo@mail.ru,

¹ Тверской государственный технический университет.

Рассмотрены вопросы комплексной механизации добычи, переработки и рационального использования торфодревесных ресурсов торфяных месторождений, предложены критерии выбора оптимального варианта и пути усовершенствования ресурсосберегающей технологии и комплекса машин и оборудования для добычи ресурсов торфяных месторождений.

Ключевые слова: торф, торфяное месторождение, торфодревесные ресурсы, технологии комплексной безотходной добычи, технологические машины и оборудование.

GROUND OF STRUCTURE OF COMPLEX OF MOUNTAIN MACHINES FOR MECHANIZATION OF BOOTY OF RESOURCES OF PEAT DEPOSITS

Zyuzin B.F.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: zbfu@yandex.ru,

Zhigul'skaya A.I.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: 9051963@gmail.com,

Zhigul'skiy M.A.¹, Senior Lecturer, e-mail: hfr.drow@gmail.com,

Oganesyan A.S.¹, Master's Degree Student, e-mail: ttmo@mail.ru,

¹ Tver State Technical University, 170026, Tver, Russia.

In the article examine the issues of comprehensive mechanization of mining, processing and management of peat and wood resources of peat deposits, proposed criteria for choosing the best option, and ways to improve the energy saving technologies and a set of machines and equipment for production and processing resources of peat deposits.

Key words: peat, peat deposits, peat and wood resources, waste-free technologies for integrated production and processing, manufacturing machinery and equipment.