УДК 69.002.5

© С. В. Репин, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: repinserge@mail.ru

© А. А. Черныш, канд. техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет)
E-mail: a.chernysh1954@mail.ru

© С. Н. Яковлев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
E-mail: stannik59@mail.ru

© А. В. Зазыкин, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: a.v.zazykin@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-160-166

© S. V. Repin, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: repinserge@mail.ru

© A. A. Chernysh, PhD in Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State Maritime Technical University)
E-mail: a.chernysh1954@mail.ru

© S. N. Yakovlev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
E-mail: stannik59@mail.ru

© A. V. Zazykin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: a.v.zazykin@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА МАССИВНЫХ ШИН ДЛЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

DEVELOPMENT OF THE REMANUFACTURE TECHNOLOGY OF SOLID TIRES FOR ROAD-BUILDING MACHINERY

Описана технология восстановительного ремонта массивных шин для дорожных фрез, основанная на замене традиционного эластомера — резины — на более совершенный полиуретан. Метод заключается в удалении отработанного резинового упругого обода и замене упругим полиуретановым ободом. Представлена поэтапная технология заливки, полимеризации и удаления массивной шины из литевой формы для двухкомпонентного полиуретана горячей полимеризации торговой марки «Дуотан» (Duotane) фирм CIL (Великобритания) и Synair (США). Даны конкретные рекомендации по уменьшению износа ведущих и рулевых колес.

Ключевые слова: массивная шина, дорожная фреза, полиуретан, восстановительный ремонт.

The paper describes the technology of remanufacture of massive tires for pulvimixers, based on the replacement of the traditional elastomer — rubber — with a more perfect polyurethane. The method consists of removing the worn rubber elastic rim and replacing it with an elastic polyurethane rim. The authors present a step-by-step technology for pouring, polymerization and removal of the solid tire from the injection mould for a two-component hot cured polyurethane of the Duotane trademark of CIL (UK) and Synair (USA). Specific recommendations are offered for reducing the wear of traction wheels and steering wheels.

Keywords: solid tire, pulvimixer, polyurethane, remanufacture.

Введение

В современном дорожном строительстве, а также при производстве ремонта асфальтобетонного покрытия дорог широкое применение находят колесные и гусеничные фрезы.

Дорожные колесные фрезы отличаются от гусеничных фрез меньшей шириной фрезерования (от 500 до 1000 мм), меньшей глубиной (от 160

до 320 мм) и, как следствие, меньшей производительностью, но обладают повышенной маневренностью и мобильностью. Основные типы работ, в которых применяют подобную технику, — это ямочный ремонт и ремонт колеиности. На сегодняшний день наиболее известными мировыми производителями данной дорожно-

строительной техники являются фирмы Wirtgen, Caterpillar, Bomag и др.

Фрезерование старого асфальтобетонного покрытия требует больших усилий и, как следствие, хорошего сцепления колесной фрезы с дорогой. Контактрование осуществляется с помощью массивных шин диаметром 620 мм и шириной 255 мм с помощью трех или четырех колес. Трехколесные дорожные фрезы обладают большей маневренностью, но меньшей производительностью по сравнению с четырехколесными.

Основными причинами выхода из строя упругого резинового обода массивной шины являются:

- абразивный износ обода;
- вырыв части упругого обода;
- отслаивание вследствие перекоса колеса.

В середине XX века резину как конструкционный материал деталей машин стали вытеснять полиуретановые эластомеры, которые имеют ряд преимуществ в сравнении с резинами [2–6].

Полиуретановые эластомеры, используемые при восстановительном ремонте массивных шин, имеют высокие показатели износостойкости и прочности. Кроме того, они обладают высоким коэффициентом трения скольжения в контакте с дорожным покрытием, который необходим для надежного сцепления массивной шины с дорогой [7–11].

Покупка запасных частей, в частности массивных шин, у мировых производителей дорожных фрез — довольно затратное дело. Стоимость массивной шины колеблется от 900 до 1000 евро. Экономически значительно выгоднее удалить отработанный резиновый обод и заменить его на более прочный и износостойкий полиуретановый. Данная операция у фирм, работающих с полиуретанами, стоит от 250 до 300 евро. Учитывая тот факт, что долговечность полиуретанового обода больше, чем у резинового обода, экономическая целесообразность данной технологической операции вполне очевидна.

Массивные шины, рассматриваемые в данной статье, помимо применения в дорожно-строительной технике используются в конструкциях погрузчиков-штабелеров. Массивные шины обладают большой грузоподъемностью и малыми габаритами, которые обеспечивают хо-

рошую маневренность и устойчивость при работе в стесненных условиях [12].

Целью статьи является разработка поэтапной технологии замены старого резинового упругого обода массивной шины на более совершенный полиуретановый обод.

Материалы и технология восстановительного ремонта

Для экспериментальной отработки технологии восстановительного ремонта использовался двухкомпонентный полиуретан горячей полимеризации торговой марки «Дуотан» (Duothane) фирм Synair (США) и CIL (Великобритания).

На рис. 1 представлены основные типы массивных шин.

Конструкция массивной шины во многом определяет технологию ее изготовления. Полиуретановые эластомеры, используемые для изготовления упругого обода массивной шины, относятся к термореактивным полимерам. Упругий обод массивной шины образуется после прохождения химической реакции между исходными компонентами при нагревании их в литейной форме.

В качестве материала для изготовления литейной формы используют различные материалы. Основным требованием является химическая стойкость при нагревании до температуры 130...150 °С [13–15]. При единичном изготовлении какой-либо эластомерно-металлической детали в качестве материала для быстрого прототипирования используют формовочные полиуретаны и силиконы [16–18].

Для серийного производства используются литейные формы, изготовленные чаще всего из стали. При этом к поверхностям литейной формы, контактирующим с полиуретановым эластомером при полимеризации, предъявляются, с целью снижения адгезии, повышенные требования по шероховатости поверхности (не более R_a 1,25 мкм).

Литейная форма для проведения восстановительного ремонта массивных шин представлена на рис. 2.

Особенностью данной литейной формы является сферический наружный диаметр упругого обода массивной шины. Данный конструктивный прием используется для повышения равно-

Рис. 1. Основные типы массивных шин: а — бандажный тип; б — дисковый и безбандажный тип с цилиндрической посадочной частью; в — безбандажный тип с симметричной конической посадочной частью; г — безбандажный тип с несимметричной конической посадочной частью

мерности распределения нагрузки по площадке контакта шины с цементно-бетонным полом.

Наружный диаметр металлического центра массивной шины обтачивают перед заливкой с шероховатостью R_a 2,5...1,25 мкм, при этом

Рис. 2. Образец литейной формы для восстановительного ремонта массивных шин: 1 — платформа; 2 — опорная шайба; 3 — нижняя половина формы; 4 — верхняя половина формы; 5 — проушина; 6 — упругий обод; 7 — металлический центр

различные механические способы повышения надежности крепления упругого обода к металлическому центру («ласточкин хвост», винтовая нарезка и т. д.) не применяются.

Типовой технологический процесс заливки упругого обода массивной шины состоит из последовательности следующих операций:

- подготовка металлической арматуры и литейной формы;
- основные этапы заливки формы и последующая полимеризация;
- удаление готовой детали из литейной формы.

Подготовка металлической арматуры и литейной формы

В производственной практике научно-производственной фирмы «С.П.Б.» (<http://www.srbcorp.ru/>), на базе которой проходила отработка технологии восстановительного ремонта

эластомерно-металлических деталей, были отработаны основные требования к поверхностям заливаемой арматуры.

В связи с высокой податливостью удаляемого отработанного резинового обода типовые резцы для металлообработки оказались малоэффективными. Наилучшие показатели по производительности показали кольцевые резцы [19].

Основные элементы резца представлены на рис. 3.

Резцы данной конструкции позволяют за один проход удалять до 10 мм отработанного упругого обода, при этом точение идет с большими продольными подачами. После снятия отработанного упругого обода с металлического центра заливаемую поверхность полируют с помощью притира и шкурки зернистостью Р 500 ГОСТ 13344–79.

Точение твердых полиуретанов (90 ShA и более) можно проводить с использованием типовых резцов, применяемых для металлообработки.

На основании многолетнего опыта по замене старого резинового покрытия на массивных шинах, полиграфических валах и т. д. были получены рекомендуемые режимы обработки, представленные в таблице.

Металлический центр колеса обезжиривают растворителем и подвергают дробеструйной обработке. Наиболее эффективной оказалась дробь GL твердостью 53–57 HRC.

После обработки дробью заливаемая поверхность становится матовой, микронеровности сглаживаются и существенно увеличивается площадь контактирования металла и полиуретана. Затем в течение часа металлический центр колеса повторно обезжиривают и покрывают

тонким слоем адгезива, который способствует лучшему прилипанию упругого обода к металлическому центру. Адгезив высыхает при комнатной температуре в течение 30 мин.

Внутренние поверхности формы обезжиривают и наносят тонкий слой (20...50 мкм) антиадгезива и также дают ему высохнуть в течение 10 мин.

Затем металлический центр колеса устанавливают в литейную форму. Производят осмотр подготовленной формы и для исключения утечки заливаемой массы прокрашивают антиадгезивом стыки формы с помощью кисточки и дают 10 мин для окончательной просушки.

Основные этапы заливки формы и последующая полимеризация

При ручной заливке исходные компоненты нагревают до температуры 50...55 °С, после чего в технологическую тару заливают отвердитель и затем вводят соответствующее количество преполимера. После этого компоненты перемешивают с помощью механической мешалки и производят заливку смеси в форму.

В последние годы заливку чаще всего осуществляют с помощью дозирующе-смесительных заливочных машин.

Полимеризация массивной шины производится в печи при температуре 90...110 °С в течение 9...11 ч.

Удаление готовой детали из литейной формы

После полного охлаждения литейную форму извлекают с помощью приспособления из печи и устанавливают на стол для дальнейшей разборки. Вначале снимают верхнюю половину формы 4 (см. рис. 1), затем с помощью специальных захватов, помещаемых в разгрузочные отверстия диска массивной шины, осторожно вынимают массивную шину из литейной формы.

В конце процесса изготовления производится тщательный контрольный осмотр детали на наличие воздушных пузырей в упругом полиуретановом обода и на торцевое отслаивание упругого обода.

Для придания детали товарного вида производят подрезку излишков полиуретана с упругого обода с помощью остро заточенного ножа.

Результаты испытаний

На основании многолетнего опыта (более 12 лет) были собраны подробные статистические

Рис. 3. Кольцевой резец для точения эластомерных материалов: 1 — кольцо; 2, 3 — половинки корпуса; 4, 5 — стяжные болты; 6 — вставка

Рекомендуемые режимы точения эластомерных покрытий

Тип резца	Твердость 65 ShA			Твердость 90 ShA		
	Заглубление <i>a</i> , мм	Окружная скорость <i>V</i> , м/с	Продольная подача <i>b</i> , мм/об.	Заглубление <i>a</i> , мм	Окружная скорость <i>V</i> , м/с	Продольная подача <i>b</i> , мм/об.
Кольцевой	5...10	1,2...1,5	6...8	—	—	—
Лезвийный	—	—	—	5...10	1,2...1,5	0,3...0,4

данные относительно срока службы восстановленных массивных шин. Долговечность или срок службы рулевых полиуретановых колес по сравнению с ведущими полиуретановыми колесами примерно в 1,5 раза меньше, чем у ведущих. Данный факт объясняется наличием усталостного и абразивного изнашивания при макропроскальзывании рулевого колеса вокруг вертикальной оси во время поворота. Необходимо отметить, что абразивный износ по своей интенсивности значительно превосходит усталостный износ. Внешним проявлением абразивного износа является наличие продольных полос пропахивания на поверхности упругого обода.

Удельная работа силы трения массивной шины во фрикционном контакте с поверхностью асфальтобетонного покрытия при повороте ее на угол φ согласно [20] определяется по формуле

$$A = f_{\text{ск}} q r_{\text{с}} \varphi, \quad (1)$$

где $f_{\text{ск}}$ — коэффициент трения скольжения массивной шины по асфальтобетонному покрытию; q — нормальное давление массивной шины в контакте с дорогой; $r_{\text{с}}$ — приведенный радиус трения площадки контакта шины с дорогой; φ — угол поворота колеса вокруг вертикальной оси.

Для ведущих и рулевых колес произведение нормального давления на приведенный радиус трения примерно одинаково. Если допустить, что износ шин пропорционален удельной работе силы трения массивной шины с дорогой согласно выражению (1), тогда износ шин будет пропорционален углу поворота φ . Так как угол поворота рулевых колес в полтора раза больше угла поворота ведущих колес, то примерно во столько же раз рулевые колеса будут изнашиваться быстрее ведущих.

Выводы

1. Полиуретаны по сравнению с традиционным эластомером — резиной — обладают высокой стабильностью физико-механических свойств и могут быть использованы для восста-

новительного ремонта массивных шин дорожно-строительной и транспортной техники.

2. Для увеличения срока службы восстановленных массивных шин дорожных фрез необходимо строго соблюдать технологические режимы процесса восстановления.

3. Срок службы управляемых колес ниже в полтора раза срока службы ведущих колес, что необходимо учитывать при планировании использования машин.

Библиографический список

1. Васильев А. П., Динлес Э. В., Когендон М. С. Ремонт и содержание дорог. М.: Информавтодор. 2004. 507 с.
2. Trimbach J. Schutz von dienhaltigen Elastomeren gegen Ozonrisse // Gummi. Fasern. Kunststoffe. 2015. No. 1. Pp. 38–45.
3. Nobuyuki Nakajima. Polyurethane melt-flow examined with time-dependent thermodynamics // Journal of Elastomers and Plastics. 2017. Vol. 49. No. 3. Pp. 171–180.
4. Hornig R., Klump U. Einfluss des Gough-Joule-Effekts auf die Spannungszustände in elastomeren Zylinderkörpern bei Druckbelastungen und Temperaturzunahme unter Berücksichtigung seine rezepturbedingten Ausprägung // Gummi. Fasern. Kunststoffe. 2015. No. 11. Pp. 58–65.
5. Khalid Mahmood Zia, Wasem-ul-Arifeen, Muhammad Ashair Iqbal, Mohammad Zuber, Muhammad Ishag, Muhammad Akhyar Farrukh, Mirza Nadeem Ahmad. Synthesis and characterization of polydimethyl Silaxane-based polyurethane elastomers using toluene diisocyanate // Journal of Elastomers and Plastics. 2015. Vol. 47. No. 8. Pp. 371–380.
6. Wrobel D., Franssen O. Die Zukunft baut auf Siliconelastomere // Gummi. Fasern. Kunststoffe. 2016. No. 4. Pp. 47–55.
7. Yakovlev S. N. Dynamic Hardening of Structural Polyurethanes // Russian Engineering Research. 2016. No. 4. Pp. 255–257.
8. Khalid Mahmood Zia, Aftab Ahmad, Sohail Arjum, Mohammad Zuber, Muhammad Naveed Anjum. Synthesis

and characterization of Siloxane-based polyurethane elastomers using hexamethylene diisocyanate // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2015. Vol. 47. No. 7. Pp. 301–310.

9. Krencieski M. A., Zhang H. Neues Konzept verbessert Lebensdaueranalysen von Elastomerbauteilen // *Gummi. Fasern. Kunststoffe*. 2015. No. 4. Pp. 37–45.

10. Janusz Datta, Ewa Glawinska. Chemical modifications of natural oils and examples of their usage for polyurethane synthesis // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2014. Vol. 45. No. 1. Pp. 30–41.

11. Anandhan S., Han Sup Lee. Influence of organically modified clay mineral on domain structure and properties of segmented thermoplastic polyurethane elastomer // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2014. Vol. 46. No. 3. Pp. 231–241.

12. Савосин В. С. Массивные шины (конструкция, изготовление, эксплуатация). М.: Химия, 1981. 112 с.

13. Любартович С. А. Реакционное формование полиуретанов. М.: Химия, 1990. 288 с.

14. Govorcin Bajsic E. Thermal Degradation of Polyurethane Elastomers: Determination of Kinetic Parameters // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2003. Vol. 35. No. 5. Pp. 311–323.

15. Gonella L. B. New Reclaiming Process of Thermoset Polyurethane Foam and Blending with Polyamide-12 and Thermoplastic Polyurethane // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2009. Vol. 41. No. 4. Pp. 303–322.

16. Janusz Datta. Synthesis and Investigation of Glycolysates and Obtained Polyurethane Elastomers // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2010. Vol. 42. No. 3. Pp. 217–227.

17. Marcos Pacheco F. M. Thermal, Chemical, and Morphological Characterization of Microcellular Polyurethane Elastomers // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2009. Vol. 41. No. 4. Pp. 323–338.

18. Sheng Li. Effect of Elastomer on Flame Retardancy, Thermal Degradation, and Mechanical Properties of Intumescent Flame-Retardant Polyethylene // *Journal of Elastomers and Plastics*. 2011. Vol. 43. No. 6. Pp. 257–273.

19. Грановский Г. И., Панченко К. П. Фасонные резцы. М.: Машиностроение, 1975. 309 с.

20. Аленин Е. А. Механизация погрузочно-разгрузочных работ средствами напольного электро-транспорта. Калининград: Книжное издательство, 1974. 152 с.

References

1. Vasil'ev A. P., Dinles Eh. V., Kogendon M. S. *Remont i soderzhanie dorog* [Repair and maintenance of roads]. Moscow, Informavtodor Publ., 2004, 507 p.

2. Trimbach J. Schutz von dienhaltigen Elastomeren gegen Ozonrisse. *Gummi. Fasern. Kunststoffe*. 2015, no. 1, pp. 38–45.

3. Nobuyuki Nakajima. Polyurethane melt-flow examined with time-dependent thermodynamics. *Journal of Elastomers and Plastics*. 2017, vol. 49, no. 3, pp. 171–180.

4. Hornig R., Klump U. Einfluss des Gough-Joule-Effekts auf die Spannungszustände in elastomeren Zylinderkörpern bei Druckbelastungen und Temperaturzunahme unter Berücksichtigung seine rezepturbedingten Ausprägung. *Gummi. Fasern. Kunststoffe*, 2015, no. 11, pp. 58–65.

5. Khalid Mahmood Zia, et al. Synthesis and characterization of polydimethyl siloxane-based polyurethane elastomers using tolunediiisocyanate. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2015, vol. 47, no. 8, pp. 371–380.

6. Wrobel D., Franssen O. Die Zukunft baut auf Siliconelastomere. *Gummi. Fasern. Kunststoffe*, 2016, no. 4, pp. 47–55.

7. Yakovlev S. N. Dynamic hardening of structural polyurethanes. *Russian Engineering Research*, 2016, no. 4, pp. 255–257.

8. Khalid Mahmood Zia, et al. Synthesis and characterization of siloxane-based polyurethane elastomers using hexamethylene diisocyanate. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2015, vol. 47, no. 7, pp. 301–310.

9. Krencieski M. A., Zhang H. Neues Konzept verbessert Lebensdauer analysen von Elastomerbauteilen. *Gummi. Fasern. Kunststoffe*, 2015, no. 4, pp. 37–45.

10. Janusz Datta, Ewa Glawinska. Chemical modifications of natural oils and examples of their usage for polyurethane synthesis. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2014, vol. 45, no. 1, pp. 30–41.

11. Anandhan S., Han Sup Lee. Influence of organically modified clay mineral on domain structure and properties of segmented thermoplastic polyurethane elastomer. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2014, vol. 46, no. 3, pp. 231–241.

12. Savosin V. S. *Massivnye shiny (konstruktsiya, izgotovlenie, ehkspluatatsiya)* [Solid tyres (construction, manufacturing, operation)]. Moscow, Khimiya Publ., 1981, 112 p.

13. Lyubartovich S. A. *Reaktsionnoe formovanie poliuretanov* [Reaction extrusion of polyurethanes]. Moscow, Khimiya Publ., 1990, 288 p.

14. Govorcin Bajsic E. Thermal degradation of polyurethane elastomers: determination of kinetic parameters. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2003, vol. 35, no. 5, pp. 311–323.

15. Gonella L. B. New reclaiming process of thermoset polyurethane foam and blending with polyamide-12 and thermoplastic polyurethane. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2009, vol. 41, no. 4, pp. 303–322.

16. Janusz Datta. Synthesis and investigation of glycolysates and obtained polyurethane elastomers.

Journal of Elastomers and Plastics, 2010, vol. 42, no. 3, pp. 217–227.

17. Marcos Pacheco F. M. Thermal, chemical, and morphological characterization of microcellular polyurethane elastomers. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2009, vol. 41, no. 4, pp. 323–338.

18. Sheng Li. Effect of elastomer on flame retardancy, thermal degradation, and mechanical properties of intumescent flame-retardant polyethylene. *Journal of Elastomers and Plastics*, 2011, vol. 43, no. 6, pp. 257–273.

19. Granovskiy G. I., Panchenko K. P. *Fasonnye reztsy* [Shaped cutters]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975, 309 p.

20. Alepin E. A. *Mekhanizatsiya pogruzochno-razguzochnykh rabot sredstvami napol'nogo ehlektrotransporta* [Mechanization of loading and unloading operations by means of floor electric transport]. Kaliningrad, Knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1974, 152 p.