

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАРТЕНСИТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АДАПТИВНЫХ ШИПОВ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ

Войку И.П., Стрикунов А.В.

Псковский государственный университет, г.Псков

Ключевые слова: перспективы, мартенситы, шип противоскольжения, дорожное покрытие, колеиность, штырь, память формы, термочувствительный элемент.

Аннотация. В статье обоснована актуальность разработки инновационного устройства – адаптивного шипа противоскольжения и перспективы использования мартенситов при его изготовлении. Устройство относится к автомобильной промышленности, а именно к шипам противоскольжения, которыми оснащены протекторы шин транспортных средств для повышения их сцепления с дорожным полотном. Использование традиционных шипов противоскольжения, которыми оснащены протекторы шин транспортных средств, не позволяет одновременно решить две задачи: обеспечить максимум сцепления колеса транспортного средства с поверхностью дороги, минимизировать разрушающее действие шипов противоскольжения на дорожное покрытие. Задачи решаются тем, что предлагаемое устройство выполнено по формам и размерам традиционных шипов противоскольжения, однако содержит выдвигаемый штырь. Штырь может приводится в действие как веществами, обладающим отрицательным коэффициентом теплового расширения, так и мартенситными материалами. В статье описаны перспективы и особенности их использования.

PROSPECTS FOR THE USE OF MARTENSITES IN THE MANUFACTURE OF ADAPTIVE ANTI-SLIPPING SPIKES

Voiku I.P., Strikunov A.V.

Pskov State University, Pskov

Keywords: prospects, martensites, vehicle, anti-slipping spike, road surface, wheel tracking, adaptive spike, pin, shape memory, temperature-sensitive element.

Abstract. The article substantiates the relevance of the development of an innovative device – an adaptive anti-slipping spike and the prospects for the use of martensites in its manufacture. The device belongs to the automotive industry, namely, to the anti-slipping spikes, the tire treads of vehicles are equipped with these spikes to increase their adhesion to the roadway. The use of traditional anti-slipping spikes does not allow to solve two problems at the same time: to ensure maximum adhesion of the vehicle's wheel to the road surface, to minimize the destructive effect of anti-slipping spikes on the road surface. The tasks are solved by the fact, that the proposed device is made according to the shapes and sizes of traditional anti-slipping spikes, but contains a retractable pin. The pin can be operated by either the substances with a negative coefficient of thermal expansion or martensitic materials. The article describes the prospects and features of their use.

Введение

Использование традиционных шипов противоскольжения, которыми оснащены протекторы шин транспортных средств, не позволяет

одновременно решить две задачи: обеспечить максимум сцепления колеса транспортного средства с поверхностью дороги, минимизировать разрушающее действие шипов противоскольжения на дорожное покрытие. Непредсказуемость условий проскальзывания шин относительно дорожного полотна актуализирует адаптивность режима изменения коэффициента сцепления шины с дорожным покрытием.

По данным исследования, проведенного российскими экспертами в 2011 году, один легковой автомобиль изнашивает за 1 км пробега около 24 гр материала покрытия, а износ одним шипом составляет 100 микрограмм. Колейность на отдельных участках дорог на 90% может являться результатом воздействия шипов [1].

Европейские расчеты показывают, что при увеличении средней скорости на участке дороги с 90 км/ч до 110 км/ч интенсивность разрушения увеличивается в 2 раза [1].

Отрасли нужны инновации, способные снизить потери от эксплуатации шипованных шин при сохранении показателей достигнутого уровня обеспечиваемой безопасности. Инновации должны позволить шипованной резине, как и прежде, обеспечивать лучшее сцепление автомобиля с дорогой, покрытой наледью, сократив износ дорожного покрытия.

Материалы и методы

Разработка модели устройства проводилась с учетом требований ГОСТ 33672-2015 «Автомобильные транспортные средства. Шипы противоскольжения. Технические требования и методы испытаний».

В качестве веществ, обладающих отрицательным коэффициентом теплового расширения: рассмотрены простые (вода, висмут, галлий, германий, кремний) и сплавы (бронза, чугун, висмута + свинец + сурьма). Рассмотрены обширный класс материалов (сплавы на основе никелида титана, латуни и бронзы сложного состава и др.), обладающих эффектом «памяти формы». Для перспективного использования в инновационном устройстве в качестве приоритетных мартенситных материалов выбраны двухкомпонентный сплав Ni-Ti и трехкомпонентные сплавы Cu-Zn-Al и Fe-Mn-Si.

Адаптивный шип противоскольжения и перспективы использования мартенситов при его изготовлении

Итак, использование традиционных шипов противоскольжения, которыми оснащены протекторы шин транспортных средств, оказывает негативное воздействие на дорожное покрытие. Решить эту проблему призвано предлагаемое инновационное устройство – адаптивный шип противоскольжения.

Предлагаемое устройство выполнено по формам и размерам традиционных шипов противоскольжения (1), однако содержит выдвигаемый штырь (3) (рис. 1). Габаритные размеры и формы предлагаемого шипа противоскольжения принимаются соответственно существующим стандартам для подобных устройств.

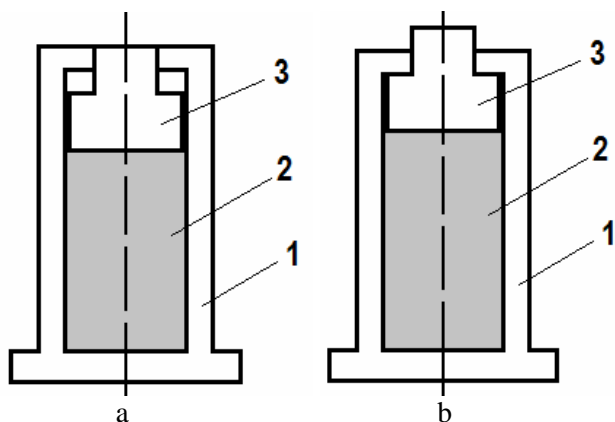


Рис. 1. Устройство адаптивного шипа противоскольжения:
а – состояние покоя; б – рабочее состояние

Штырь приводится в действие наполнителем шипа (2). В качестве наполнителя могут рассматриваться как вещества, обладающие отрицательным коэффициентом теплового расширения, так и мартенситные материалы.

Имеется достаточный набор веществ, демонстрирующих при повышении температуры не расширение, а наоборот, сжатие, т. е. имеющих отрицательный коэффициент температурного расширения. Наиболее известными веществами (комбинациями веществ), обладающими отрицательным коэффициентом теплового расширения (табл. 1), обеспечивающим продольное перемещение штыря при изменении температуры окружающей среды, в том числе шины, являются: вода, висмут, галлий, германий, кремний, бронза, чугун и некоторые другие сплавы.

Табл. 1. Отрицательные коэффициенты объемного/линейного расширения веществ

Вещество	Значение	Ед.изм.
Вода	200	$\beta, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Висмут	13	$\alpha, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Галлий	13	$\alpha, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Бронза	16	$\alpha, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Чугун	12	$\alpha, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

С точки зрения решения технической задачи инновационного устройства, вода обладает уникальным сочетанием качеств. Она обладает максимальным значением отрицательного коэффициента теплового расширения среди жидкостей, продолжительность «фазы перехода» является достаточно узкой – от $^\circ\text{C}$ до $3,984^\circ\text{C}$ (рис. 2).

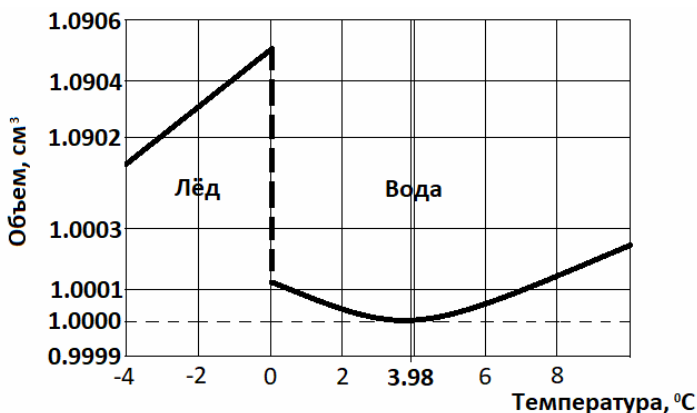


Рис. 2. Фаза перехода – теплового объемного расширения воды

Принцип действия адаптивного шипа противоскольжения при использовании воды в качестве наполнителя прост: при понижении температуры окружающей среды до значений, при которых меняется знак коэффициента теплового объемного расширения, вода расширяется, обеспечивая выдвижение штыря из шипа противоскольжения. При повышении температуры окружающей среды до значений, при которых меняется знак коэффициента теплового объемного расширения, вода сжимается, обеспечивая перемещение штыря обратно в шип.

Однако использование воды в устройстве обладает одним существенным недостатком – необходимостью обеспечения герметичности. Это ограничивает возможности использования воды в качестве наполнителя при производстве адаптивных шипов противоскольжения. Поэтому в качестве приоритетных должны рассматриваться вещества, обладающие эффектом памяти. Эффект памяти, например, эффект запоминания формы (табл. 2), проявляется, если пластическая деформация сопровождалась мартенситным превращением [2].

Мартенситы металлов изменяют форму при нагревании или охлаждении при прохождении через определённую точку температуры, когда атомы, составляющие их структуры, внезапно перестраиваются в другое кристаллическое состояние [3].

Подобное преобразование означает, что мартенсит может быть использован в качестве вещества, обеспечивающего продольное перемещение штыря в инновационном устройстве при изменении температуры окружающей.

Несомненно, для производства адаптивных шипов противоскольжения наибольший практический интерес представляет такое свойство мартенситов, как многократная обратимость деформации только за счет температуры и в отсутствие необходимости приложения внешних усилий для формоизменения. Поэтому среди эффектов мартенситной неупругости особое место занимает эффект, заключающийся в способности материала в

отсутствии приложенного напряжения при охлаждении накапливать, а при нагреве возвращать сравнительно большие деформации (до 5-8%) [5].

Табл. 2. Сплавы с эффектом памяти формы [4]

<i>Сплав</i>	<i>Концентрации элементов в сплаве</i>	<i>Температурный диапазон превращения, °С</i>	<i>Гистерезис, °С</i>
Ag-Cd	44/49 ат. % Cd	-190 ÷ -50	≈15
Au-Cd	46.5/50 ат. % Cd	30 ÷ 100	≈15
Cu-Al-Ni	14/14.5 в. % Al, 3/4.5 в. % Ni	-140 ÷ 100	≈35
Cu-Sn	≈15 ат. % Sn	-120 ÷ 30	-
Cu-Zn	38.5/41.5 в. % Zn	-180 ÷ -10	≈10
CuZn-X (X=Si, Sn, Al)	неск. в. % X	-180 ÷ 200	÷10
In-Ti	18/23 ат. % Ti	60 ÷ 100	≈4
Ni-Al	36/38 ат. % Al	-180 ÷ 100	≈10
Ni-Ti (НИТИНОЛ)	49/51 ат. % Ni	-200 ÷ 110	≈30
TiNi-Fe	3 ат. % Fe	-180 ÷ 100	≈10
TiNi-Cu	≈8-20 ат. % Cu	-150 ÷ 100	≈50 ÷ 4
TiNi-Nb	≈9-15 ат. % Nb	-200 ÷ 50	≈66-125
TiNi-Au	50 ат. % Ni+Au	20 ÷ 610	-
TiNi-Pd, Pt	50 ат. % Ni+5-50 ат. %	-200 ÷ 700	≈30 ÷ 100
Fe-Pt	≈25 ат. % Pt	≈ -130	≈4
Mn-Cu	5/35 ат. % Cu	-250 ÷ 180	≈25
Fe-MN-Si	32 в. % Mn, 6 в. % Si	-200 ÷ 150	≈100

Наиболее известным и изученным мартенситным материалом является никелид титана NiTi. Сплав обладает превосходной коррозионной стойкостью, высокой прочностью, хорошими характеристиками формозапоминания (высоким коэффициентом восстановления формы и высокой восстанавливающей силой). Деформация материала до 8% может полностью восстанавливаться. Формовосстановление реализуется довольно интенсивно, с большими величинами реактивных напряжений: у сплава TiNi их значение приближается к 600-800 МПа [6], а в сплаве Ti-Ni-Hf – до 1300 МПа [7].

К основным недостаткам материала стоит отнести высокую стоимость, сложность обработки при изготовлении деталей, особенно резанием. Кроме того, сплав легко присоединяет азот и кислород, что требует вакуумного оборудования и усложняет производственные технологии.

Сплав Cu-Zn-Al наряду с никелидом титана также имеет широкое практическое применение. Температуры его мартенситных превращений в интервале от -170 до 100°С. Однако наиболее дешевыми сплавами этой

системы являются Fe-Mn-Si. Максимальный эффект памяти формы в сплаве Fe-23Mn-5Si при деформации достигает 75 % после закалки от 600...700 °C [8].

В последние годы активно исследуются свойства керамического соединения ZrW_2O_8 . При охлаждении это соединение расширяется, причем очень сильно.

Ученые обнаружили, что гексацианокобальтат серебра ($Ag_3Co(CN)_6$) при охлаждении расширяется, причем очень сильно, с коэффициентом $-120 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Это примерно в 14 раз больше, чем у предыдущего рекордсмена - ZrW_2O_8 . При нагревании гексацианокобальтат серебра также расширяется (вдоль другой оси), причем опять с рекордным коэффициентом: $140 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Это в десять раз больше предыдущих рекордов [9].

Существенным недостатком современных мартенситов является то, что после неоднократных изменений формы в них появляются внутренние напряжения, ухудшающие их механические свойства, которые могут, в конечном счёте, разорвать их на части [10].

У сплава Zn-Au-Cu отсутствует этот недостаток. При нагреве и охлаждении он может изменить форму десятки тысяч раз без ухудшения свойств.

Выводы

Одним из инновационных решений задачи обеспечения максимума сцепления колеса транспортного средства с поверхностью дороги при минимизации разрушающего действия шипов противоскольжения на дорожное покрытие является разработка адаптивного шипа противоскольжения (шипа противоскольжения с выдвигаемым штырем).

Выдвижение штыря из шипа противоскольжения при понижении температуры и перемещение штыря обратно при ее повышении может обеспечиваться наполнителем шипа - веществами, обладающими отрицательным коэффициентом теплового расширения, или мартенситными материалами.

С точки зрения решения технической задачи инновационного устройства, вода обладает уникальным сочетанием качеств. Однако использование воды в устройстве обладает одним существенным недостатком – необходимость обеспечения герметичности.

Для производства адаптивных шипов противоскольжения наибольшими перспективами обладают мартенситные сплавы, обладающие такими свойствами, как высокий показатель объемного расширения и восстановления формы, многократная обратимость деформации только за счет температуры и в отсутствие необходимости приложения внешних усилий для формоизменения, а также низкая стоимость.

Из всех рассмотренных сплавов свойствами, необходимыми для производства адаптивного шипа противоскольжения, обладают:

– TiNi – высокий показатель восстановления формы;

– Fe–23Mn–5Si – высокий показатель восстановления формы и низкая стоимость;

– Ag₃Co(CN)₆ – максимальный показатель объемного расширения;

– Zn-Au-Cu – многократная обратимость деформации только за счет температуры.

Необходима дальнейшая поисковая работа, конечным результатом которой должно стать обеспечение технического результата предлагаемого инновационного устройства - самостоятельного выдвижения или скрывания штыря шипа противоскольжения при изменении температуры окружающей среды.

Список литературы

1. Меренцова Г.С., Медведев Н.В. Анализ условий образования наледи на автомобильных дорогах // Горизонты образования. Научно-образовательный журнал АлГТУ. 2015. Вып. 17. Приложение: 12-ая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2015»
2. Van Humbeeck J 1999 Non-medical applications of shape memory alloys // Materials Science and Engineering A 273 134–48
3. Saburi T and Nenno S 1982 Proc. Int. Conf. Solid-Solid Phase Transformation (Pittsburgh, Pa) (Warrendale, Pa) 1455-79
4. Otsuka Kand Wayman C M 1998 Mechanism of shape memory effect and superelasticity Shape Memory Materials ed K Otsuka and C M Wayman (Cambridge: Cambridge University Press) p.27-48.
5. Хачин В.Н. Никелид титана. Структура и свойства / В.Н. Хачин, В.Г. Пушин, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1992. – 160 с.
6. Лихачев В.А. Эффект памяти формы / В.А.Лихачев, С.Л. Кузьмин, З.П. Каменцева. – Л.: ЛГУ, 1987. – 216с.
7. Материалы с эффектом памяти формы / Справочник: Под ред. Лихачева В.А. – Т. 1. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. – 424 с. / Т. 2. – СПб.: Издво НИИХ СПбГУ, 1998. – 374 с. / Т. 3 – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998, 474 с. / Т. 4. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998. – 268 с.
8. Хусаинов М.А., Малухина О.А., Андреев В.А. Фазовые переходы в сплавах никелида титана с эффектом памяти формы // Вестник НовГУ. 2015. №3-2(86). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fazovye-perehody-v-splavah-nikelida-titana-s-effektom-pamyati-formy>.
9. Stepanov, First law of thermodynamics for materials with negative thermal expansion, Materials Research Innovations 2008, v. 12, N 1, p. 28-29.
10. Каюмов Р.А., Страхов Д.Е. Модели поведения полимера с эффектом памяти формы // Известия КазГАСУ. 2014. №4 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-povedeniya-polimera-s-effektom-pamyati-formy>.

References

1. Merentsova G.S., Medvedev N.V. Analysis of ice formation conditions on highways // Horizons of education. Scientific and educational journal of AltSTU. 2015. Issue 17. Appendix: 12th all-Russian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists «Science and youth-2015».
2. Van Humbeeck J 1999 Non-medical applications of shape memory alloys // Materials Science and Engineering A 273 134–48
3. Saburi T and Nenno S 1982 Proc. Int. Conf. Solid-Solid Phase Transformation (Pittsburgh, Pa) (Warrendale, Pa) 1455-79

4. Otsuka K and Wayman C M 1998 Mechanism of shape memory effect and superelasticity Shape Memory Materials ed K Otsuka and C M Wayman (Cambridge: Cambridge University Press) p.27-48
5. Khachin V.N. titanium Nickelide. Structure and properties / V.N. Khachin, V.G. Pushin, V.V. Kondratiev. – Moscow: Science, 1992. – 160 p.
6. Likhachev V.A. Effect of form memory / V.A. Likhachev, S.L. Kuzmin, Z.P. Kamentseva. – L.: LSU, 1987. – 216p.
7. Materials with shape memory effect / Reference: Ed. Likhachev V.A. – Vol. 1. – SPb.: Publ. SPbSU, 1997. – 424 p. / Vol. 2. – SPb.: Publ. SPbSU, 1998. – 374 p. / Vol. 3 – SPb.: Publ. SPbSU, 1998, 474 p. / Vol. 4. – SPb.: Izd-vo SPbGU NIEH, 1998. – 268 p
8. Khusainov M. A., Malukhina O. A., Andreev V. A. Phase transitions in titanium nickelide alloys with shape memory effect // News of NovSU. 2015. №3-2(86). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fazovye-perehody-v-splavah-nikelida-titana-s-effektom-pamyati-formy>.
9. Stepanov, First law of thermodynamics for materials with negative thermal expansion, Materials Research Innovations 2008, v. 12, N 1, p. 28-29.
10. Kayumov R.A., Strakhov D.E. models of polymer behavior with shape memory effect // News of KazSAU. 2014. №4 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-povedeniya-polimera-s-effektom-pamyati-formy>

Сведения об авторах:

Information about authors:

Войку Иван Петрович – старший преподаватель, voiku-ivan@yandex.ru	Voiku Ivan Petrovich – senior lector, voiku-ivan@yandex.ru
Стрикунов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, aleksandr.strikunov2@gmail.com	Стрикунов Александр Владимирович – candidate of technical sciences, associate professor, aleksandr.strikunov2@gmail.com
Псковский государственный университет, Псков, Российская Федерация	Pskov State University, Pskov, Russian Federation

Получена 30.09.2020