

**И.О. ХМЕЛЕВСКАЯ**, канд. техн. наук,  
ст. науч. співроб., УкрНИИпротезирования, Харків,  
**Л.О. БЕЛЕВЦОВА**, молодш. науч. співроб.,  
УкрНИИпротезирования, Харків,  
**А.А. ЛУКОВЕНКО**, канд. техн. наук,  
наук. співроб., УкрНИИпротезирования,  
**А.В. БЛИЗНЮК**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМФОРМОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СИЛИКОНОВЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ**

В статті пропонуються різні способи вулканізації силіконових гумових сумішей. Подані порівняльні характеристики фізико-механічних властивостей силіконових гумових сумішей, отриманих різними способами. Зроблені висновки щодо можливості використання силіконових гумових сумішей у галузі протезування.

В статье предлагаются разные способы вулканизации силиконовых резиновых смесей. Поданные сравнительные характеристики физико-механических свойств силиконовых резиновых смесей, полученных разными способами. Сделанные выводы относительно возможности использования силиконовых резиновых смесей в отрасли протезирования.

The different methods of vulcanization of silicon rubber mixtures are offered in the article. Given comparative descriptions of physical and mechanical properties of the silicon rubber mixtures got in number of different ways. Drawn conclusion in relation to possibility of the use of silicon rubber mixtures in industry of протезирования.

Начиная с конца прошлого столетия силиконовые материалы все более широко внедряются в отрасль протезостроения, что обусловлено свойствами, удовлетворяющим требованиям к протезно-ортопедическим изделиям. Как правило, при изготовлении смягчающих и разгружающих элементов, в ортопедической технике использовались низкотемпературные силиконы [1], положительными характеристиками которых является хорошая разгружающая способность, гигиеничность, нетоксичность, хорошее сцепление с кожей человека, возможность переработки при комнатной температуре. Однако их невысокие физико-механические характеристики, а также жидкая консистенция эластомера, не позволяют их использование для изготовления целого ряда протезно-ортопедических изделий.

Решение этой проблемы возможно при использовании силиконовых резиновых материалов [2], которые обладают уникальным комплексом свойств: широкий диапазон показателя твердости по Шору при достаточно высоких значениях физико-механических характеристик, высокая эластичность и деформативность при отсутствии остаточной деформации как при растяжении, так и при сжатии, сопротивление раздиру, что обеспечивает устойчивость к разрушению при механических повреждениях и, кроме того, прекрасные медико-технические и санитарно-гигиенические характеристики.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики низкотемпературных и высокотемпературных силиконовых эластомеров.

Таблица 1

Сравнительные характеристики низко- и высокотемпературных силиконов

Название материала	Твердость по Шору А, усл. ед.	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Раздир, Н/мм
Низкотемпературные силиконы				
Elastosil P7684/10 (Otto Bock, Германия)	12	1,42	450	3,3
Силорт-1 (Украина)	15 – 18	–	80	–
Высокотемпературные силиконы				
Chlorosil 85P21 (Otto Bock, Германия)	35	9,0	1300	35
Термосил 52-1196 (Украина)	35	5,0	700	21

Однако, использование их в протезостроении было до недавнего времени ограничено спецификой технологии изготовления протезно-ортопедических изделий.

Каждое изделие является индивидуальным и изготавливается по гипсовым позитивам каждого конкретного пациента, что не позволяет применять традиционные технологии переработки резиновых смесей (вулканизация заготовок в пресс-формах при высоком давлении).

В результате развития химии силоксановых резин в Украине разработаны резиновые смеси перекисной вулканизации, которая может осуществляться при атмосферном давлении [3].

В данной работе была исследована возможность применения традиционной в протезостроении технологии изготовления изделий (вакуумформование по гипсовому позитиву) для переработки силиконовых резиновых сме-

сей перекисной вулканизации.

В исследовании использовалась резиновая смесь на основе высокомолекулярного диметилвинилсилоксанового каучука, вулканизуемая перекисью 2,4-дихлорбензоила [4], в виде пластины, полученной вальцеванием.

Для испытаний пластина развальцовывалась до толщины 2 мм и из нее вырезались образцы прямоугольной формы (10 × 15) см.

Вулканизация образцов проводилась тремя способами:

– вулканизация между двумя металлическими пластинами под давлением 10 МПа в течении 10 мин при 100 °С с дальнейшим термостатированием при атмосферном давлении в течении 2 – 6 часов при температуре 145 – 160 °С;

– вулканизация на гипсовом параллелепипеде при атмосферном давлении в течение 10 мин при температуре 100 °С и термостатирование в течение 2 часов при температуре 145 °С;

– вулканизация на гипсовом параллелепипеде под действием вакуума 0,95 в течение 10 мин при температуре 100 °С и термостатирование при атмосферном давлении в течение 2 часов при температуре 145 °С.

На рисунке приведено приспособление для моделирования процесса вакуумформования изделия на гипсовом позитиве.

В таблице 2 приведены свойства вулканизатов, полученных разными способами при одинаковых температурно-временных режимах (вулканизация 10 мин при 100 °С, термостатирование 2 часа при 145 °С).

Как видно из таблицы, вулканизаты, полученные при атмосферном давлении и под действием вакуума, имеют близкие по значениям физико-механические показатели, которые несколько ниже, чем у вулканизатов, полученных под давлением в прессформе, но в то же время они вполне удовлетворяют требованиям протезостроения. Однако необходимо отметить, что образцы вулканизатов, полученных при атмосферном давлении, имели значительное количество пузырей, поверхность образцов была неровной, бугристой. Следовательно, для изготовления протезно-ортопедических изделий, одним из основных требований которых является полное повторение рельефа культи инвалида, данный способ не может быть применен.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что силиконовые резиновые смеси могут перерабатываться традиционным для протезно-ортопедической техники способом изготовления изделий методом вакуумформования по позитиву.

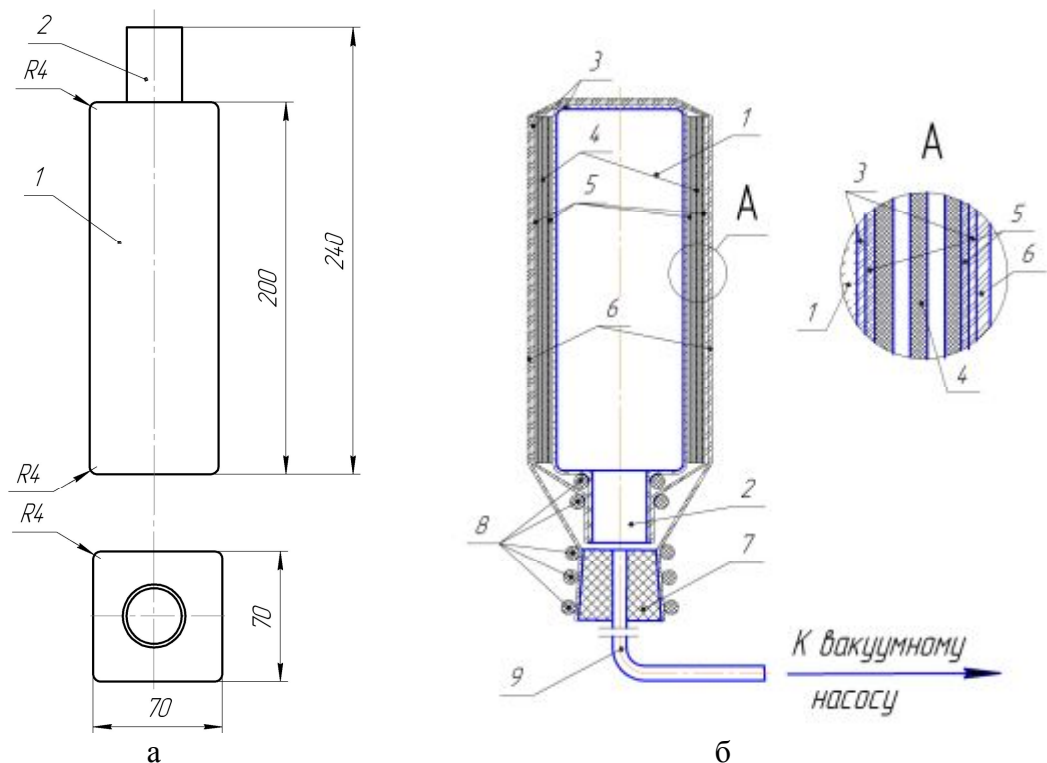


Рисунок – Приспособление для моделирования процесса вакуумформования по гипсовому позитиву:

а – внешний вид гипсового параллелепипеда,

б – схема сборки приспособления для вулканизации под вакуумом.

1 – гипсовый позитив;

2 – трубка позитива для закрепления хлопчатобумажного вакуумпровода;

3 – хлопчатобумажный вакуумпровод; 4 – образцы силиконовой резиновой смеси;

5 – ПВХ-пленка; 6 – чехол из ПВХ-пленки;

7 – резиновая пробка для соединения приспособления с вакуумным насосом;

8 – эластичные шнуры для закрепления вакуумпровода и чехла из ПВХ-пленки;

9 – трубка для соединения с вакуумным насосом.

Таблица 2

Свойства вулканизатов, полученных разными способами

Показатель	Способ вулканизации		
	при атмосферном давлении	под действием вакуума	под давлением в прессформе
Твердость по Шору А у.е.	40	48	49
Условная прочность при растяжении, МПа	5,4	6,7	8,6
Относительное удлинение при разрыве, %	540	510	750
Сопротивление раздиру, Н/мм	12,8	16,1	30
Модуль упругости, МПа	0,70	0,93	1,45

Проведенные исследования позволяют утверждать, что силиконовые резиновые смеси могут перерабатываться традиционным для протезно-ортопедической техники способом изготовления изделий методом вакуумформования по позитиву.

Поскольку вулканизация под воздействием вакуума затруднена технологически, так как требует подведения вакуума в термошкаф была изучена также возможность вулканизации резиновой смеси при атмосферном давлении с предварительным вакуумированием при комнатной температуре.

Образцы силиконовой резиновой смеси, расположенные на гипсовом параллелепипеде (рисунок), вакуумировались в течение 1 часа. Затем, после снятия герметизирующего чехла из ПВХ-пленки, параллелепипед с образцами помещался в термошкаф и вулканизовались при атмосферном давлении при температуре 100 °С в течение 30 мин с последующим термостатированием при 145 °С в течение 2 часов.

В таблице 3 приведены сравнительные характеристики вулканизатов, полученных при вакуумировании на стадии вулканизации, и при предварительном вакуумировании.

Таблица 3

Сравнительные характеристики вулканизатов,  
полученных при разных способах вакуумирования

Показатель	Способ вакуумирования	
	на стадии вулканизации	предварительное вакуумирование
Твердость по Шору А у.е.	19	17
Условная прочность при растяжении, МПа	2,73	2,3
Относительное удлинение при разрыве, %	830	800
Сопротивление раздиру, Н/мм	8,6	7,0

Образцы, полученные обоими способами вакуумирования, имели плотную структуру, ровную, гладкую поверхность без пузырей.

Из таблицы 3 видно, что свойства образцов имеют практически одинаковые значения.

Следовательно, при невозможности подведения вакуума в термошкаф вулканизацию силиконовых резиновых смесей можно проводить при атмосферном давлении с предварительным вакуумированием при комнатной температуре на формообразующей поверхности.

Для целей протезостроения ГНИИ «Эластик», совместно с УкрНИИпротезирования разработаны силиконовые резиновые смеси «Термосил» с разными показателями твердости (ТУ У 25.1-00151644-181:2010 «Силіконові гумові суміші «Термосил»), свойства которых приведены в таблице 4.

Таблица 4

Свойства вулканизатов Термосила разных марок

Показатель	Марка			
	52-1194	52-1195	52-1196	52-1241
Твердость по Шору А у.е.	15	20	35	50
Условная прочность при растяжении, МПа, не менее	1,17	2,5	4,9	5
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	650	600	717	500
Сопротивление раздиру, Н/мм, не менее	6,4	8,2	21	18

В УкрНИИ протезирования на основании проведенных исследований разработаны технологические процессы изготовления различных протезно-ортопедических изделий из Термосила, которые успешно внедрены на предприятиях отрасли [5].

**Список литературы:** 1. Schäfer M. Silikone in der technischen Orthopädie / M. Schäfer // Medizinisch Orthopädische Technik. – 2008. – № 2. – P. 7 – 16. 2. De Cubber J. Beschreibung eines Verfahrens für die Verarbeitung von Silicon-Elastomeren zur Herstellung von Medizinprodukten / J. De Cubber // Orthopädie Technik. – 1998. – № 4. – P. 257 – 263. 3. Піднебесний А.П. Силоксанові гуми та їх властивості / А.П. Піднебесний, Л.О. Мельник, Н.В. Савельєва. – К.: Фітосоціоцентр, 2006. – 320 с. 4. Пат. UA 53026 Україна, МПК C08L 83/04 (2006.01), C08K 3/36 (2006.01), C08K 5/05 (2006.01), C08K 5/14 (2006.01). Полімерна композиція / Мельник Л.О., Пупкова Н.Г., Савельєва Н.В., Хмелевская І.О., Ватолинский Л.Г., Чернов Є.І.; заявник та патентовласник Державний науководослідний інститут «Еластик». – № 2002020962; заявл. 06.02.02; опубл. 15.01.03, Бюл. № 1. 5. Ватолинский Л.Е. Использование силиконовых резиновых смесей при изготовлении протезно-ортопедических изделий / [Л.Е. Ватолинский, Л.Г. Щетинина, И.О. Хмелевская и др.] // Вестник Всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2010. – № 1. – С. 13 – 17.

Поступила в редколлегию 10.05.11