

УДК 678.62-567:620.16

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ СВЯЗИ РЕЗИНЫ С МЕТАЛЛОМ

М.С. Хорольский (УНИКТИ "ДИНГЭМ"),  
г. Днепропетровск

В различных отраслях народного хозяйства эксплуатируется большое количество резинотехнических изделий (РТИ), в том числе армированных металлом. Так, в машиностроении резинометаллические изделия (РМИ) часто используются в качестве виброизоляторов осевого, радиального или комбинированных действий. Нередки случаи, когда РМИ используют в качестве муфт, компенсаторов, гасителей колебаний, различных опорных элементов и др. Во всех случаях надежность и долговечность объектов, в которых применяются РМИ, определяется не только физико-механическими показателями резины и армирующих элементов, но и прочностью и стабильностью адгезионной связи между резиной и металлом. При создании новых видов изделий, армированных металлом, разработчики уделяют большое внимание не только конструкции РМИ, но и технологическим возможностям получения данной конструкции. Чаще всего в РМИ наблюдается *"отслоение резины от арматуры"*. Поэтому вопросам технологии изготовления надежных РМИ уделяется большое внимание [1-6].

Прежде чем изготавливать резинометаллические изделия, как правило, определяют способность резины крепиться к материалу арматуры с помощью адгезива. Обычно это проверяется на стандартных образцах по ГОСТ 209 [7], вулканизация которых проводится по режиму вулканизации резины. После извлечения из пресс-формы, охлаждения до комнатной температуры на разрывной машине нарушают связь



Рис. 1. Технологическая схема изготовления РМИ

между дисками образца. По отношению усилия, при котором произошло нарушение связи к площади поперечного сечения резины, оценивают прочность связи резины с металлом в стандартном образце.

Замечено, что в изделиях, особенно с тонкой металлической арматурой, прочность связи резины с металлом в большинстве случаев ниже, чем на стандартных образцах, что и послужило предпосылкой для соответствующих исследований.

В настоящей работе рассмотрены некоторые особенности технологии изготовления резиноармированных изделий с тонкой наружной металлической арматурой.

На рис. 1 в общем виде представлена схема технологического процесса изготовления РМИ в виде пластинчатого амортизатора, схема последнего представлена на рис. 2. Как видно из схемы, технологический процесс имеет много стадий, каждая из которых может существенно повлиять на качество РМИ.

Одним из наиболее распространенных способов повышения прочности связи резины с металлом является механическое развитие (увеличение) поверхности арматуры, соединяемой с резиной, за счет обработки дробью или электрокорундом в потоке воздуха заданных параметров. При изготовлении пластинчатого амортизатора арматуру обрабатывают электрокорундом зернистостью 80-120 мкм (в дальнейшем опескоструивание). В процессе опескоструивания арматура подвергается короблению со стрелой прогиба  $h_1$  и  $h_2$  вследствие наклепа на опескоструенной поверхности (рис. 3). После вулканизации и извлечения изделия из пресс-формы коробление исчезало, однако через некоторое время на амортизаторах, находящихся в свободном состоянии, в точках А (рис. 2) наблюдалось отслоение резины от арматуры, что снижало работоспособность амортизатора. Чем больше отношение длины арматуры к ее толщине, тем больше величина

прогиба и, как следствие, меньше время до появления трещины на границе "металл-резина".

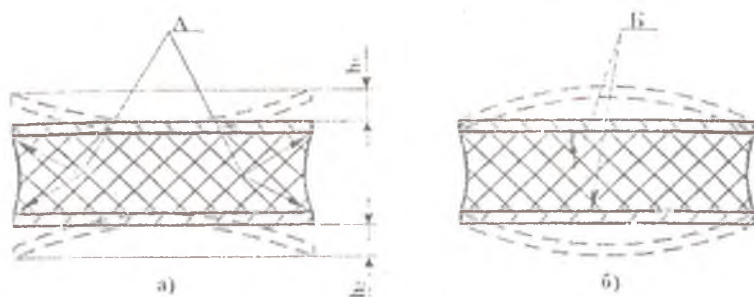


Рис. 2. Схема пластинчатого амортизатора:

а) - опескоструивание арматуры произведено с внутренней стороны;

б) - опескоструивание произведено сначала с наружной, а затем с внутренней стороны. Точки А и Б - места наибольших растягивающих напряжений

Очевидно, что в процессе вулканизации за счет давления прессования сдеформированная при опескоструивании арматура выравнивалась и при извлечении изделия из прессформы за счет адгезионных связей между резиной и арматурой последняя сохраняла форму, приобретенную при вулканизации. Однако вследствие стремления арматуры принять равновесное, то есть сдеформированное после опескоструивания состояние, в точках А, на границе металл-адгезив-резина, возникало напряженно-деформированное состояние, которое приводило к появлению трещин, распространяющихся с течением времени в глубь резинового массива.

Для уменьшения влияния прогиба на долговечность амортизатора до появления трещин, опескоструивание проводили с обеих сторон. Стрела прогиба уменьшалась в 2,5-3 раза, что значительно увеличило время до появления трещин

в точках А, однако их появление полностью не предотвратило, так как не удалось полностью устранить прогиб.

Тогда сменили порядок опескоструивания сторон. Сначала опескоструивали свободную от резины поверхность, а затем рабочую. При этом, прогиб оставался ничтожно мал, что практически не оказывало существенного влияния на работоспособность изделия.

На образцах (темплетах), вырезанных из состаренных методом ускоренного старения изделий, имелись незначительные отслоения лишь в средней части амортизатора (точка Б).

Для оценки влияния напряженно-деформированного состояния (внутренних напряжений) на прочность связи резины с металлом в изделиях был предложен усовершенствованный способ (рис. 3) определения прочности связи резины с металлом [8], который базируется на стандартном методе [7].

Он заключается в следующем: стандартный образец, состоящий из двух металлических дисков 1 и резинового цилиндра 2 (рис. 3), в котором необходимо оценить прочность связи клеевого соединения резины с металлом, вулканизуют в пресс-форме по режиму вулканизации РМИ и извлекают из пресс-формы. Не охлаждая образец, измеряют высоту резинового цилиндра Н в свободном нерастянутом состоянии, при котором деформация растяжения резинового цилиндра равняется нулю. За характеристику начального состояния принимается межцентровое расстояние А между отверстиями 3 в дисках 1. Температура образца в начальном состоянии Т равняется температуре вулканизации Т<sub>в</sub>.

Таким образом, образец в исходном состоянии имеет следующие параметры (рис. 3,а):

$$\varepsilon = \varepsilon_{н0} = 0;$$

$$A = A_0;$$

$$T = T_в.$$

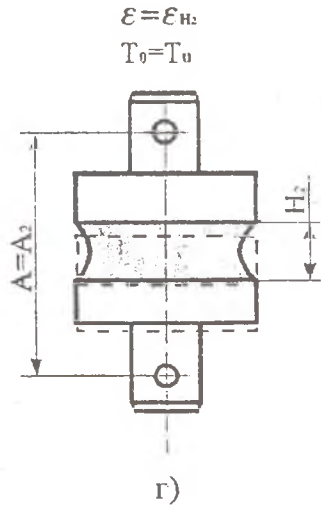
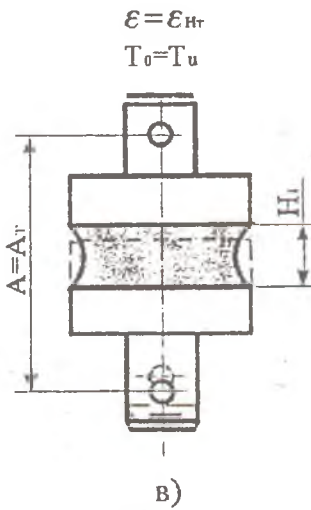
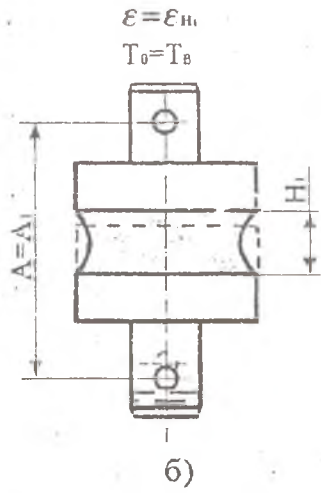
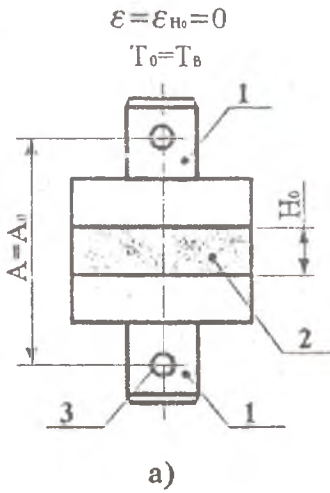


Рис. 3

Затем образец при температуре вулканизации предварительно растягивают на заданную величину деформации. Такой заданной величиной может быть прогиб металлической арматуры РМИ после опескоструивания, разница усадки между самым большим и самым малым объемами резинового массива в РМИ и др. В зависимости от поставленной задачи заданная величина деформации может быть либо максимальной, либо распределена от нуля до максимального значения с определенным шагом. При заданной величине деформации растяжения образец фиксируют с новыми параметрами (рис. 3, б):

$$\varepsilon = \varepsilon_{н1};$$

$$A = A_1;$$

$$T = T_{\sigma}.$$

С целью исключения погрешности по температуре или снижению ее влияния в процессе растяжения образца приспособление для растяжения предварительно подогревают до температуры вулканизации образца.

После достижения заданной деформации растяжения образец охлаждают до температуры испытаний (в большинстве случаев это комнатная температура в пределах 18-22°C) и освобождают от осевых растягивающих напряжений. Образец при этом имеет следующие параметры (рис. 3, в):

$$\varepsilon = \varepsilon_{н\tau};$$

$$A = A_{\tau};$$

$$T = T_{и}.$$

Затем образец кондиционируют (выдерживают при температуре испытаний заданное время для достижения равновесного состояния). Образец стремится восстановить свое первоначальное состояние, однако за счет необратимых остаточных деформаций значения  $\varepsilon$  и  $A$  имеют текущее (переменное) значение и после кондиционирования перед испытанием образец имеет параметры (рис. 3, г):

$$\varepsilon = \varepsilon_{H_2};$$

$$A = A_2;$$

$$T = T_u.$$

При этом:

$$\varepsilon_{H_1} > \varepsilon_{H_2} > 0;$$

$$H_1 > H_2 > H_0;$$

$$A_1 > A_2 > A_0.$$

После того, как и в стандартном способе, на разрывной машине определяют усилие разрушения и оценивают прочность связи резины с металлом в изделии, деформационные характеристики которого были положены в основу описанных исследований.

На основе предлагаемого способа испытаний были проведены ширококомасштабные исследования, результаты которых приведены на рис. 4. При этом величину деформации рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = [(H_1 - H_0) / H_0] 100 \%,$$

где  $H_1$  - текущее значение толщины резинового цилиндра в образце, мм;  $H_0$  - начальное значение толщины резинового цилиндра в образце, мм.

Как видно из зависимости прочности связи  $\sigma$  резины с металлом от деформации  $\varepsilon$ , для всех резин деформация на границе металл-адгезив-резина, вызванная напряженно-деформированным состоянием из-за стремления арматуры вернуться в равновесное состояние, является определяющей.

Во всех случаях с увеличением напряженно-деформированного состояния резко снижается прочность связи резины с металлом. Причем практически во всех случаях разрушение наблюдалось по клеевой пленке без разрушения резинового массива. Последнее может свидетельствовать о зависимости прочности связи резины с металлом не только от величины деформации на границе металл-адгезив-резина, но и от температуры. При этом наблюдается хорошая корреля-



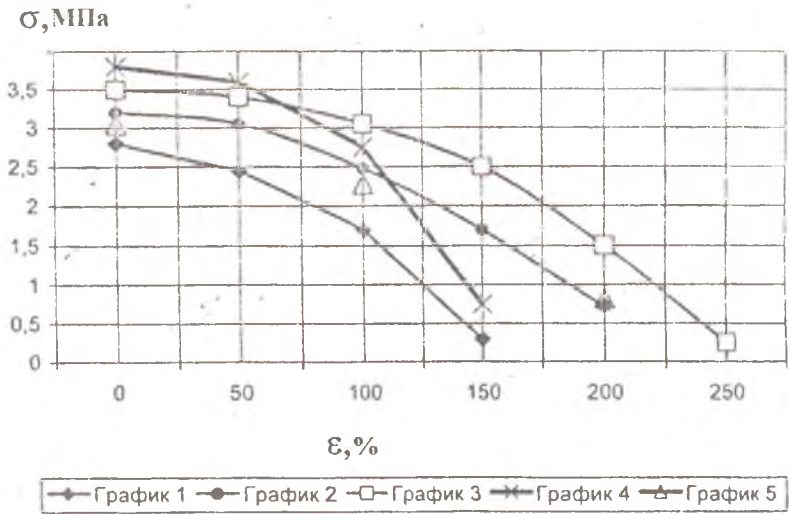


График 1 - резина 1; график 2 - резина 2;  
 график 3 - резина 3; график 4 - резина 4; график 5 -  
 темплеты с резиной 2.

Рис. 4. Зависимость прочности связи резины с металлом от деформации

ция между прочностью связи резины с металлом в темплетях (резина 2) и на образцах, определенная по предлагаемому способу (точки 1Т, 2Т, 3Т). Наличие разброса данных может зависеть от механической обработки при вырезке темплетов и точности определения величины прогиба в арматуре натурального РМИ.

Следовательно, рассчитав теоретически прогиб металлических элементов или определив их экспериментально, можно по полученной описанной зависимости прогнозировать прочность связи резины с металлом в конкретном РМИ на

любом его участке при конкретном адгезиве в отличие от известного способа [7], согласно которому можно определить лишь потенциальные возможности материалов.

Анализируя приведенные данные, можно сделать вывод, что для получения РМИ с высокой прочностью связи резины с металлом необходимо уменьшить величину прогиба. Это можно сделать несколькими способами:

- 1) увеличить толщину арматуры либо уменьшить ее размеры с целью увеличения жесткости;
- 2) ввести ребра жесткости;
- 3) опескоструивать арматуру с двух сторон.

В первом случае увеличение толщины арматуры приводит к увеличению массы, что не всегда возможно, так же как и уменьшение ее габаритов, а введение ребер жесткости и опескоструивание арматуры с обеих сторон значительно увеличивают трудоемкость изделий и их цену.

Поэтому представляло интерес рассмотреть возможные альтернативные варианты обработки арматуры.

Один из вариантов обработки арматуры заключается в том [9], что тонкую металлическую арматуру перед опескоструиванием подвергают механической деформации до образования прогиба, обратного по направлению изгибу арматуры при опескоструивании и равного ему по радиусу кривизны (рис. 5). Прогиб арматуры при опескоструивании может быть определен по макету, идентичному по конструкции и материалу гибкой арматуры. Макет опескоструивают с одной стороны по заданному технологическому режиму, а затем определяют градиент и величину изменения геометрических параметров макета. После деформации арматуру опескоструивают с рабочей стороны по тому же заданному режиму. В результате арматура приобретает заданные геометрические параметры, ее в дальнейшем обрабатывают согласно технологической схеме со стадии 5 (рис. 1). Арматуру с заданной кривизной после определения необходимых параметров мож-

но изготавливать в штампе с одновременным получением всех необходимых геометрических размеров.

В процессе исследований была замечена еще одна особенность поведения тонкой металлической арматуры при опескоструивании - зависимость величины прогиба от направления прокатки металла и опескоструивания [10]. Исследования проводили на макетах с использованием плоской металлической арматуры толщиной 1,5 мм и размерами 30 и 50 мм при длине 150 мм, 60 и 100 мм при длине 300 мм. Направление прокатки металла было как параллельным, так и перпендикулярным длине макетов. Опескоструивание рабочей поверхности макетов арматуры производили вдоль направления прокатки металла и поперек направлению прокатки. Величина деформации макетов арматуры после опескоструивания приведена в таблице 1.

Таблица 1

Величина деформации макетов арматуры при опескоструивании

Направление обработки и прокатки металла	Длина арматуры, мм			
	150		300	
	Ширина арматуры, мм			
	30	50	60	100
Направление прокатки параллельно длине арматуры, опескоструивание параллельно направлению прокатки	15,6	8,9	34,5	20,3
Направление прокатки перпендикулярно длине арматуры, опескоструивание перпендикулярно направлению прокатки	11,0	6,2	12,3	6,1

Как видно из таблицы 1, деформация при опескоструивании макетов арматуры, в которых направление прокатки металла расположено перпендикулярно к длине арматуры, и опескоструивание, произведенное перпендикулярно к направлению прокатки, значительно ниже, чем при направлении прокатки металла вдоль длины макета арматуры и опескоструивании вдоль направления прокатки.

Арматуру изделия с направлением прокатки металла как параллельным, так и перпендикулярным длине механически деформировали в направлении, противоположном деформации макета после опескоструивания. Размеры механической деформации арматуры изделия соответствовали размерам деформации макета арматуры после опескоструивания. Опескоструивание рабочей поверхности арматуры изделия производили параллельно или перпендикулярно направлению прокатки металла. Остаточная деформация арматуры изделия после опескоструивания рабочей поверхности (таблица 2) ниже при расположении направления прокатки металла перпендикулярно длине арматуры и опескоструивания перпендикулярно направлению прокатки.

Более широкая арматура 50x150 мм и 100x300 мм восстанавливалась почти полностью. Остаточная деформация механически деформированной арматуры изделия после опескоструивания составляла не более 0,5 мм в первом случае и 0,3 мм во втором.

Рассматривая полученные результаты, можно предложить схему технологического процесса, сущность которого показана на рис. 5-9.

На рис. 5 схематично показана схема раскроя листа металла для изготовления арматуры по отношению к направлению прокатки. Целесообразно еще раз обратить внимание, что длинная сторона арматуры должна быть расположена перпендикулярно направлению прокатки.

Таблица 2

Величина остаточной деформации механически деформированной арматуры изделия после опескоструивания

Направление обработки и прокатки металла	Ширина и длина арматуры, мм			
	30 x 150		60 x 300	
	Прогиб при механической деформации	Остаточная деформация после опескоструивания	Прогиб при механической деформации	Остаточная деформация после опескоструивания
Направление прокатки параллельно длине арматуры, опескоструивание параллельно направлению прокатки	15,6	0,4-0,8	34,5	0,8-1,4
Направление прокатки перпендикулярно длине арматуры, опескоструивание перпендикулярно направлению прокатки	11,0	0,2-0,3	12,3	0,3-0,6

На рис. 6 схематично показана последовательность опескоструивания арматуры изделия относительно направления прокатки металла.

Но сначала необходимо изготовить макеты из того же материала, что и арматура изделия, и точно по такому же режиму, как для арматуры изделия (зернистость электрокорунда, скорость потока и давление воздуха в камере, температура

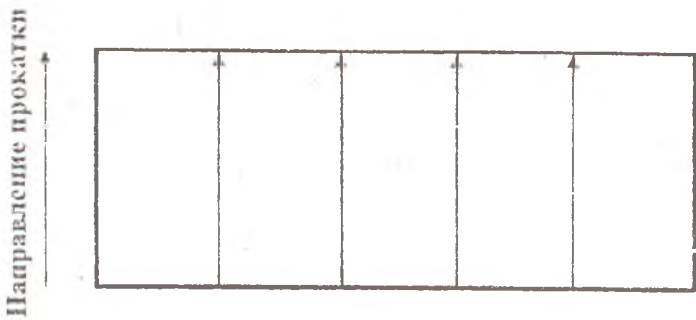


Рис. 5

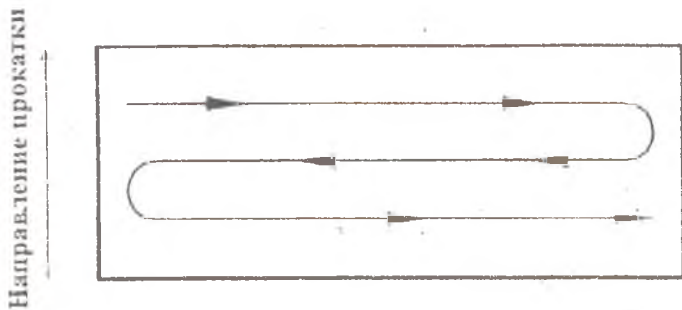


Рис.6.

воздуха, концентрация твердых частиц в потоке, время опескоструивания, диаметр выходного отверстия сопла и др.) произвести обработку электрокорундом, зафиксировав прогиб  $h_1$  и  $h_2$  пластин макетов 1 и 2 (рис. 7). Используя величины  $h_1$  и  $h_2$  макетов арматуры, изготавливают арматуру изделия, деформированную в обратном направлении со стрелой прогиба  $H_1=h_1$  и  $H_2=h_2$ , соответственно (рис. 8). После опескоструивания пластины арматуры 3 и 4 выравниваются (пунктирные линии рис. 8), после чего производят технологические операции согласно технологической схеме со стадии 5

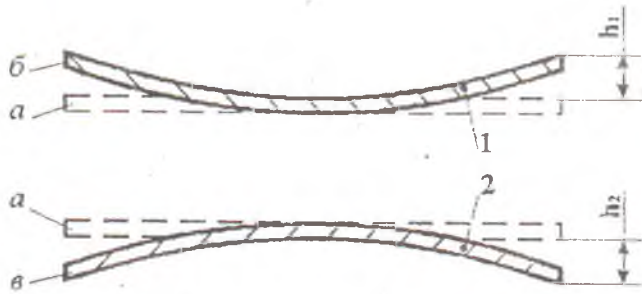


Рис. 7

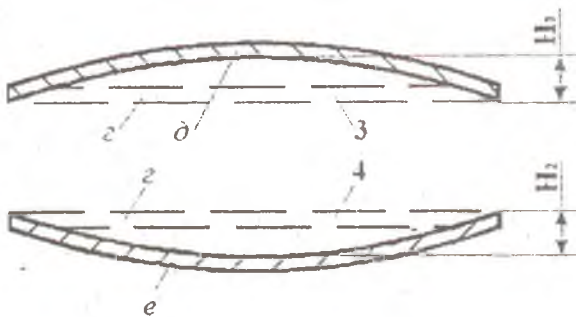


Рис. 8

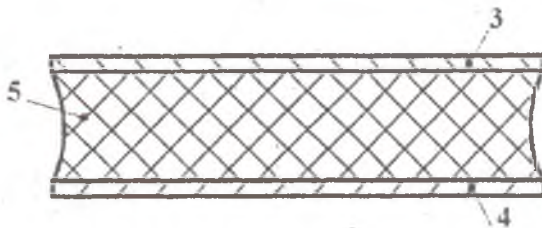


Рис. 9

до получения готового изделия, показанного на рис. 9, свободного от внутренних напряжений на границе металл-адгезив-резина. При этом в зависимости от назначения изделия и природы применяемых материалов (резина, металл) адгезив может наноситься в один или несколько слоев. Возможно применение нескольких адгезивов, наносимых на арматуру последовательно. Указанный технологический процесс внедрен в практику изготовления многих изделий для машиностроения.

Таким образом, анализируя результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Показано влияние некоторых конструктивных и технологических факторов на прочность связи резины с металлом в резинометаллических изделиях с тонкой металлической арматурой. Установлено, что в резинометаллических изделиях с тонкой наружной металлической арматурой на границе резина-металл возникают трещины и отслоения резины от металла вследствие наличия в этой зоне напряженно-деформированного состояния.

2. Изучено напряженно-деформированное состояние на границе резина-металл. Получены характерные зависимости прочности связи резины с металлом от величины деформации, с увеличением которой резко снижаются прочностные характеристики адгезионных соединений.

3. Изучено поведение тонкой металлической арматуры при опескоструивании. Показана зависимость величины прогиба от направления прокатки и опескоструивания. Разработаны основные принципы создания конструкций РМИ с тонкой металлической арматурой.

4. Разработаны способы прогнозирования прочности связи резины с металлом в РМИ с тонкой металлической арматурой и оценки прочности связи резины с металлом в зависимости от деформации.



5. Разработан технологический процесс изготовления РМИ с тонкой металлической арматурой и внедрен в производство.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конгаров Г.С., Лысенкова Л.Н., Шляхман А.А. К вопросу бездефектного изготовления РТД методом литья под давлением// Проблемы повышения качества резин и резиновых технических изделий. Сб. трудов. - М.: НИИРП, 1976, № 1. - С. 131-144.

2. Лепетов В.А. Резиновые технические изделия. Изд. 2-е, перераб и доп. - М; Л.: Химия, 1965.- 472 с.

3. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Химия, 1978. -528 с.

4. Пенкин Н.С. Гуммированные детали машин. М.: Машиностроение, 1977.-200 с.

5. Жеребков С.К. Крепление резины к металлам. - М.: Химия, 1966. - 347 с.

6. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. -Киев: Наукова думка, 1988. - 232 с.

7. ГОСТ 209. Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отрыве. - Взамен ГОСТ 208-62; Введ. 01.01.75 до 01.01.95.-М.: Изд-во стандартов, 1978.- 11 с.

8. А.С. № 1341587 (СССР). МКИ G 01 N33/44/ М.С. Хорольский, А.П. Балашов. - №3822521/23-05; Заявлено 10.12.84; - опубл. 30.09.87, БИ № 36.

9. А.С. № 1643142 (СССР). Способ изготовления резинометаллических изделий/ М.С. Хорольский . - Опубл. в Б.И., 1991, №15.

10. А.С. № 1729781 (СССР). Способ изготовления резинометаллических изделий/ М.С. Хорольский, А.Ф.Чернухина. - Опубл. в БИ., 1992, № 16.