

УДК 678.5 (0.88.8)

## УСПЕХИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПЛАСТМАСС

*И. А. Грибова, О. В. Виноградова*

Рассмотрены пути создания антифрикционных самосмазывающихся пластмасс (АСП). Показана перспективность разработки АСП на основе не обладающих в ненаполненном виде низким коэффициентом трения полимерных связующих в сочетании с наполнителем — твердой смазкой. Сформулированы основные физико-химические требования, предъявляемые к используемым в качестве связующих полимерам. Обсуждены возможные химические превращения полимерного связующего и наполнителя в процессе трения. Обобщены литературные данные по влиянию химической природы полимерного связующего на свойства антифрикционных материалов.

Библиография — 211 ссылок.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение . . . . .	177
II. Пути создания термостойких антифрикционных самосмазывающихся пластмасс . . . . .	178
III. Химические превращения полимерного связующего и наполнителя в процессе трения . . . . .	187
IV. Свойства некоторых термостойких антифрикционных пластмасс . . . . .	191

### I. ВВЕДЕНИЕ

Известно большое количество антифрикционных полимерных материалов, которые могут быть использованы в узлах трения. По своим антифрикционным свойствам полимерные материалы намного эффективнее антифрикционных сплавов<sup>1-6</sup>, графитистых и маслонаполненных бронз<sup>7</sup>. Полимерные антифрикционные материалы отличаются легкостью изготовления изделий, малым удельным весом, хорошими антифрикционными свойствами и способностью полимеров к модификации свойств путем простых технологических операций. Применение полимерных материалов в узлах трения осуществляется различными способами: покрытием металлической поверхности тонким слоем полимера, изготовлением деталей из блоков полимера без наполнителей и с наполнителями, пропиткой полимером пористых металлических основ<sup>8</sup>.

В настоящее время к материалам, обладающим антифрикционными свойствами, предъявляются все более жесткие требования — высокая термо- и теплостойкость, вибропрочность, стойкость к действию радиации, хорошая обрабатываемость. Эти материалы должны обеспечивать работу узлов трения в экстремальных условиях: высокие (до +500° С) и низкие (до -200° С) температуры, агрессивные среды, глубокий вакуум, большие скорости и высокие удельные нагрузки. Применение жидких смазок в этих условиях неэффективно.

В связи с этим внимание исследователей привлекают композиционные материалы, в которых совмещаются функции конструкционного материала и смазки. Создание композиционных материалов с заданными свой-

ствами представляет собой весьма сложную задачу. Следует учитывать природу полимерного связующего, свойства, состав и количество введенных наполнителей, а также химические и физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии полимера и наполнителей<sup>9-15</sup>.

Вопросу трения твердых тел, в том числе полимерных антифрикционных материалов, посвящены многочисленные исследования, которые обобщены в монографиях<sup>16-28</sup>, трудах конференций<sup>29-31</sup>, обзорных статьях<sup>32-36</sup> и отдельных публикациях<sup>37-42</sup>. Однако в основе этих исследований лежат вопросы механики, технологии и физико-химии наполненных систем. Химическим аспектам создания антифрикционных пластмасс уделено значительно меньшее внимание.

Целью данного обзора является рассмотрение вопроса о влиянии химической природы полимерного связующего на свойства антифрикционного материала, а также на химические и физико-химические превращения компонентов системы в процессе трения.

## II. ПУТИ СОЗДАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ПЛАСТМАСС

Существуют два принципиально различных пути создания антифрикционных самосмазывающихся пластмасс (АСП). Первый путь, широко, освещенный в литературе,— создание материалов на основе политетрафторэтилена<sup>21, 43-52</sup>, тиоколов<sup>53, 54</sup> и других полимеров, обладающих хорошими смазывающими свойствами и низким коэффициентом трения (менее 0,1). В этом случае смазывающей основой является сам полимер, а введение наполнителей приводит лишь к улучшению его физико-механических свойств: повышению теплопроводности, износостойкости, твердости, прочности, теплостойкости, уменьшению хладотекучести.

Вторым путем создания АСП является получение материалов на основе полимеров со сравнительно высоким коэффициентом трения (0,1—0,5). К таким полимерам относятся полиуглеводороды, полигалогенуглеводороды, полиамиды, полиэфиры, полиуретаны, фенольные смолы и др. Для использования таких полимеров в узлах сухого трения в их состав, как правило, вводят твердые или жидкие смазки. Этот путь создания АСП стал возможен после исследований в области высоконаполненных полимеров, выполненных в 1949—50 гг. академиком П. А. Ребиндером и его школой<sup>55, 56</sup>. Второй путь является наиболее перспективным, так как открывает широкие возможности для целенаправленного поиска связующих для АСП среди большого числа известных и новых полимеров.

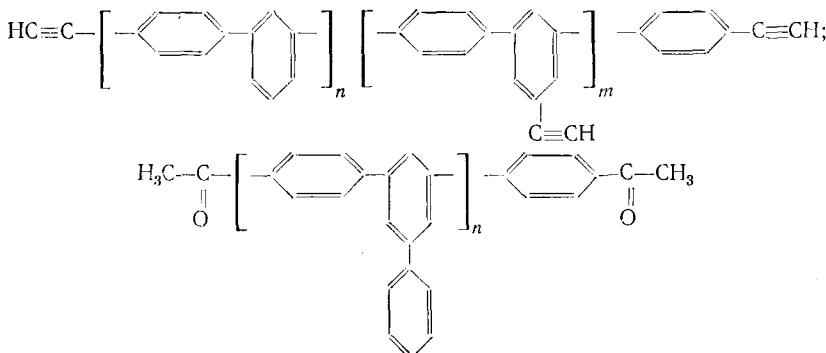
Для решения задачи создания тепло- и термостойких антифрикционных самосмазывающихся пластмасс, необходимых современной технике, в ИНЭОС АН СССР под руководством академика В. В. Коршака были проведены широкие исследования в области наполненных антифрикционных полимерных систем. Эти исследования включали изучение влияния химического строения полимеров, их физической структуры, а также химической природы наполнителя и прочности связи полимер — наполнитель на свойства антифрикционных пластмасс; изучение поведения наполненных систем при повышенных температурах в процессе трения, а также вопросов структурообразования и синтеза сетчатых полимеров в присутствии наполнителей в условиях переработки; изучение свойств и стабилизации наполненных полимеров.

Успехи, достигнутые в области синтеза термостойких полимеров, установления зависимости между химическим строением полимеров и их свойствами, разновненности полимеров открыли широкие возможности для создания антифрикционных пластмасс на их основе<sup>57-59</sup>. В качестве-

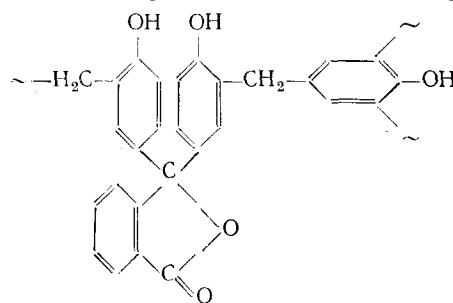
связующих при разработке АСП использовались как термопластичные, так и термореактивные полимеры различного химического строения. В основном были выбраны перечисленные ниже представители новых классов термостойких жесткоцепных органических и элементоорганических полимеров, содержащие в цепи циклы, объемные боковые группы, гетерогруппы, поперечные связи (к таким полимерам относятся полифенилены, фенолфталеинфенолоформальдегидные полимеры, полиарилаты, полимииды, полибензимидазолы, полибензоксазолы, полифенилхиноксалины, полиоксадиазолы, полицианаты и др., а также бор-, кремний-, фосфор- и серусодержащие полимеры).

#### А. Карбоцепные полимеры

##### 1. Полифенилен<sup>65, 70, 91</sup>

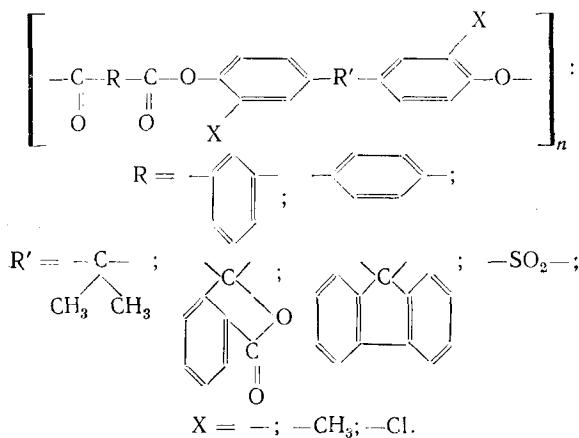


##### 2. Фенолфталеинфенолоформальдегидные полимеры<sup>66, 70, 82, 91</sup>



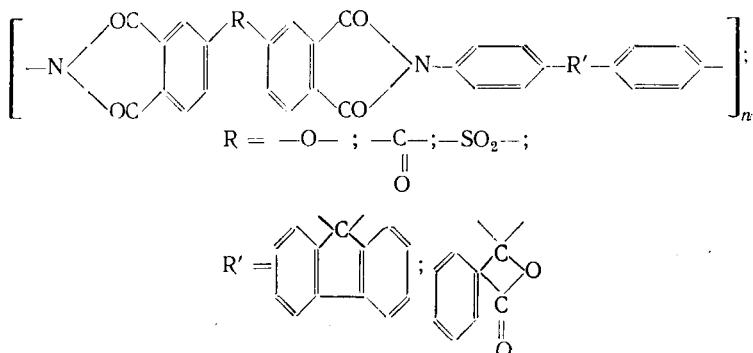
#### Б. Гетероцепные полимеры

##### 1. Полиарилаты<sup>71, 72, 81, 82, 91</sup>

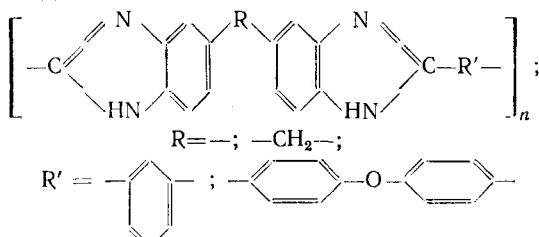


## В. Гетероциклоценные полимеры

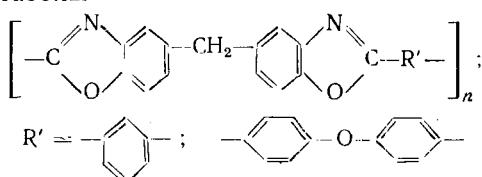
## 1. Полиимида<sup>71, 74, 82</sup>



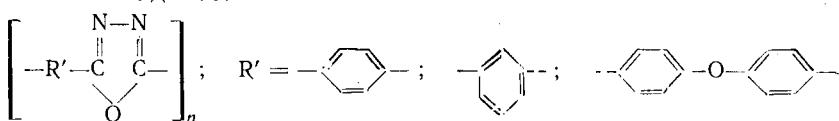
## 2. Полибензимидазолы<sup>73</sup>



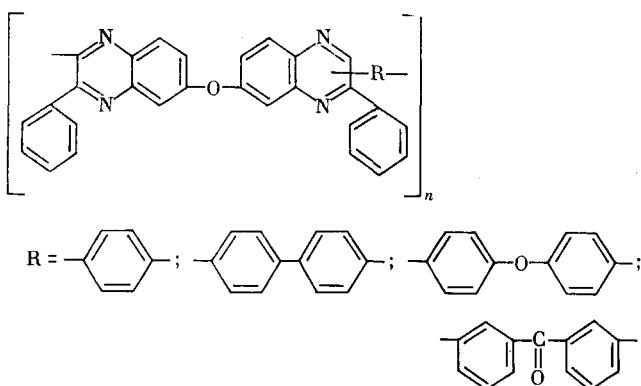
### 3. Полибензоксазолы<sup>91</sup>



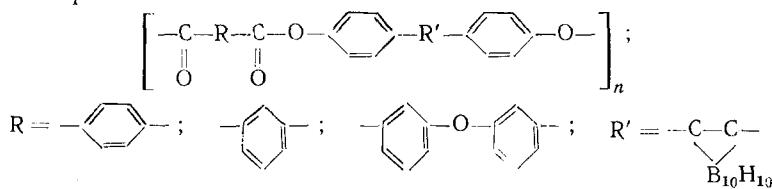
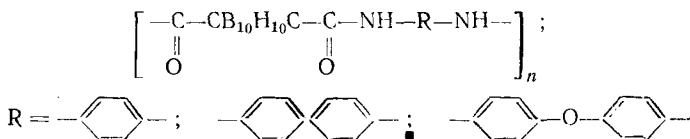
#### 4. Полиоксалиазолы<sup>60</sup>



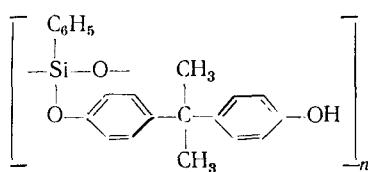
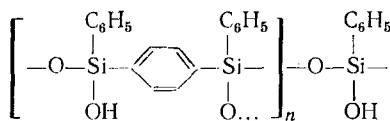
### 5. Полифенилхиноксалины<sup>74, 79, 87, 90</sup>



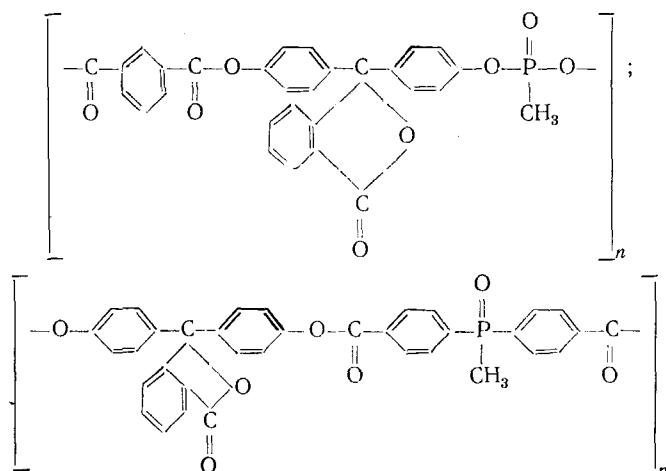
## Г. Борсодержащие полимеры

1. Полиарилаты<sup>68, 75, 93-96</sup>2. Полиамиды<sup>68, 75, 93-96</sup>

## Д. Кремнийсодержащие полимеры

1. Полимер Б-1<sup>63</sup>2. Полифениленфенилсилоксан<sup>76, 91</sup>

## Е. Фосфорсодержащие полимеры

1. Полиэфиры<sup>78, 81, 94</sup>

На основе этих полимеров Коршак с сотр.<sup>60-87</sup> разработали новые термостойкие антифрикционные материалы, обладающие рядом ценных свойств.

Существенное внимание было уделено изучению поведения наполненных полимерных систем в процессе трения при повышенных темпера-

турах и выявлению роли полимерного связующего, поскольку при высокой температуре происходит значительное изменение физико-механических и антифрикционных свойств АСП<sup>80-86</sup>. На примере изучения термофрикционных свойств ряда термостойких полимеров (полиарилатов, полииimidов, фенолфталеинфенольформальдегидного полимера), наполненных MoS<sub>2</sub>, Коршак с сотр.<sup>81, 82, 91</sup> показали, что зависимость коэффициента трения от температуры для всех наполненных полимеров имеет общий вид и характеризуется наличием нескольких зон трения — зона минимального коэффициента трения, зона возрастания коэффициента трения, зона нестабильного трения, зона снижения коэффициента трения<sup>82</sup> (см. рис. 1, 2), причем интенсивный рост коэффициента трения наблюдается значительно ниже температуры стеклования полимеров.

Исследование релаксационных и термоаутогезионных свойств АСП на основе полиарилатов и полииimidов в широком диапазоне температур показало<sup>82</sup>, что температурные границы изменения этих свойств совпадают с температурными границами зон трения.

Анализ поведения большого числа наполненных систем на основе полимеров различного химического строения при термофрикционных испытаниях, изучение релаксационных, термоаутогезионных свойств полимеров в широком интервале температур, определение молекулярной массы и характеристической вязкости до и после испытаний в различных условиях позволили Коршаку с сотр.<sup>82</sup> считать, что изменение коэффициента трения с температурой обусловлено в значительной мере строением и свойствами полимерного связующего. На основании полученных данных авторами были сформулированы основные физико-химические требования, предъявляемые к полимерам, используемым в качестве связующих при разработке термостойких антифрикционных пластмасс: полимерные связующие должны обладать высокой тепло- и термостойкостью и термоокислительной стабильностью; в химической и физической структуре таких полимеров не должно быть подвижных фрагментов, способных к переходу в лабильное состояние при температурах ниже границы их теплостойкости. Этим требованиям в значительной мере удовлетворяют полимеры, содержащие в цепи циклы, объемные боковые группы, гетерогруппы, полярные связи.

Большое внимание при разработке термостойких самосмазывающихся материалов на основе термопластичных полимеров было уделено исследованию влияния химического строения звена макромолекулы на термофрикционные свойства наполненных систем.

На примере полиарилатов различного химического строения Коршак с сотр.<sup>81</sup> показали, что присутствие в звене макромолекулы карбовых группировок, таких как фталидная и флуореновая, приводит к расширению температурных границ зоны стабильного и низкого коэффициента трения (рис. 1). Изомерия дикарбоновых кислот (использование изофталевой или терефталевой кислоты) приводит к сдвигу зоны «заедания» на 30—50° в сторону более высоких температур при переходе от *m*-к *n*-изомеру. Увеличение межцепного взаимодействия в макромолекуле полиарилатов за счет введения полярных заместителей (Cl) в ароматическое ядро бисфенола, сопровождается возрастанием коэффициента трения материалов во всем диапазоне температур. Из полученных результатов следует, что с повышением жесткости макромолекул полиарилатов за счет увеличения числа ароматических ядер, наличия карбовых группировок расширяются температурные границы эффективного применения АСП<sup>81</sup>.

Одним из факторов, приводящих к уменьшению подвижности полимерных цепей, является наличие в звене макромолекулы конденсиро-

ванных циклических группировок (бензоксазольных, бензимидазольных, пиromеллитимидных). Это приводит к значительному увеличению теплостойкости полимеров. Как правило, у таких полимеров теплостойкость превосходит термостойкость, и потому в большинстве случаев они не плавятся, что затрудняет их переработку<sup>58</sup>. Вводя в звено макромолекулы полимера подвижные узлы — «шарнирные» гетероатомы (кислород, серу), объемные заместители или такие гетерогруппы, как карбонильная и сульфоновая, в ряде случаев получают полимеры, обладающие достаточно высокой теплостойкостью и в то же время способные

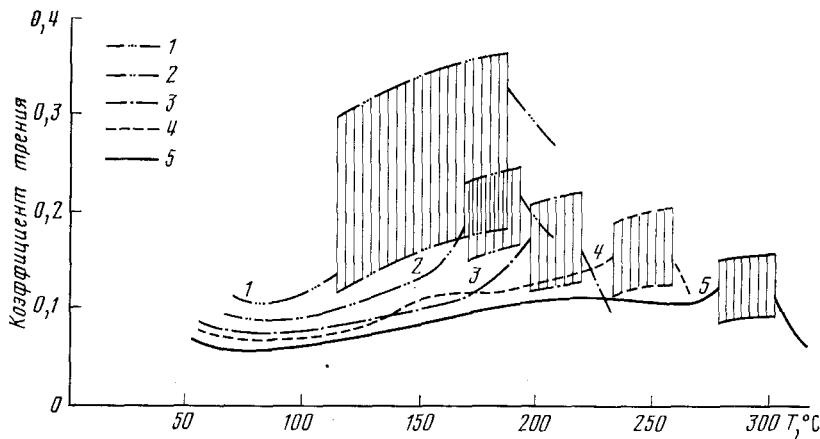
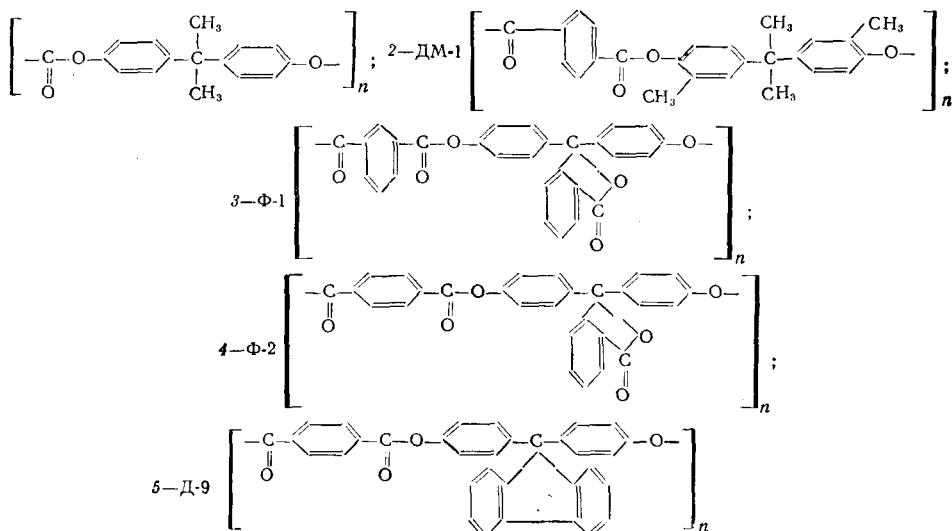


Рис. 1. Термофрикционные свойства АСП на основе полиарилатов различного химического строения: 1 — дифлоид



размягчаться при температурах ниже их температуры разложения. На рис. 2 приведены результаты термофрикционных испытаний АСП на основе полиимидов, содержащих такие «шарнирные» гетерогруппы и гетероатомы. Как видно из сравнения рис. 1 и рис. 2, антифрикционные пластмассы на основе полиимидов, в отличие от пластмасс на основе полиарилатов, обладают более высоким коэффициентом трения, что обусловлено сильным межмолекулярным взаимодействием полимерных цепей<sup>81, 82, 91</sup>. Химическая природа «шарнирного» гетероатома или гете-

рограммы в звене макромолекулы полиимидов оказывает существенное влияние на термофрикционные свойства. Так, введение атомов кислорода в диаминную и диангидридную компоненты, придающее повышенную гибкость полимерной цепи, обусловливает увеличение коэффициента трения и сужение температурных границ зоны минимального коэффициента трения. Увеличение жесткости цепи полиимидов за счет введения мостиковых гетерогрупп (карбонильной и сульфоновой) в диангидридную компоненту или объемных заместителей в диаминную компоненту приводит к возрастанию твердости материала, снижению коэффициента трения и расширению температурных границ зон трения.

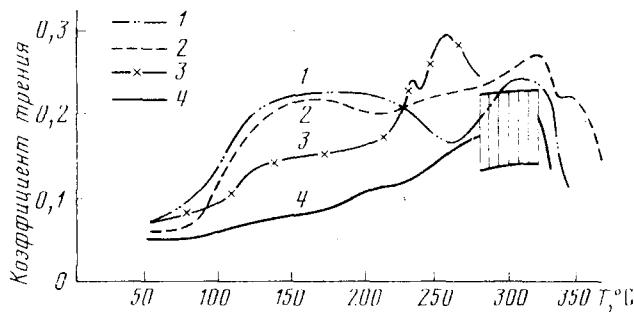
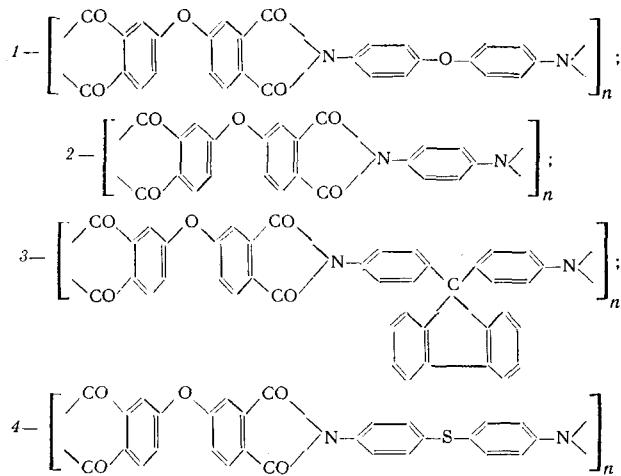


Рис. 2. Термофрикционные свойства АСП на основе полиимидов различного химического строения:



Уменьшение подвижности цепей макромолекулы достигается также образованием спиральных структур. Была исследована возможность формирования сетчатых структур полимеров из олигомеров (реактофены, ацефены, фенолоформальдегидные олигомеры)<sup>65, 66, 70, 88</sup>, из полимеров (полифенилхинооксалины, полиимиды)<sup>82, 89-91</sup> в присутствии наполнителей. Коршак с сотр.<sup>66, 82</sup> на примере АСП на основе фенолфталеинифенолоформальдегидного полимера (ФФ-40) различной степени отверждения показали, что с увеличением степени отверждения полимера коэффициент трения возрастает, а износ уменьшается. По мнению авторов<sup>66</sup>, начало возрастания коэффициента трения при невысоких температурах ( $\sim 80^\circ\text{C}$ ) и в узком интервале температур ( $80-90^\circ\text{C}$ ) обусловлено

особым характером строения фенолоформальдегидных полимеров — наличием в пространственной сетке двух типов узлов: химических (стабильных) и физических (лабильных), образованных водородными связями.

У антифрикционных пластмасс на основе малоотверженного полимера в интервале температур, при которых происходит размягчение материала, сопровождающее ростом прочности термоавтогезионной связи, наблюдается нестабильный характер трения и возрастание коэффициента трения. С увеличением степени отверждения фенолфталеинфенолоформальдегидного полимера в зоне начала его размягчения возрастает вязкость трикционного контакта. Однако прочность возникающей автогезионной связи еще достаточно низка, в связи с чем трение в этой зоне имеет стабильный характер<sup>66</sup>.

Широкие возможности для получения новых теплостойких АСП с хорошими физико-механическими свойствами открывает использование полимеров, способных образовывать в процессе переработки сшитые структуры. На примере циклоцепных полимеров — полифенилхиноксалинов исследована возможность формирования сшитой структуры за счет использования сшивающих добавок с реакционноспособными группами (терефталевый альдегид, тетранитрил пиromеллитовой кислоты и др.); для этой цели использовались также «самозаивающиеся» полифенилхиноксалины, в структуре которых содержатся реакционноспособные карбонильные группы<sup>89–91</sup>. Установлено, что материалы на основе полимеров сшитой структуры обладают стабильным коэффициентом трения и большей износстойкостью при повышенных температурах.

Значительное внимание уделяется исследованию влияния химического строения звена элементоорганических полимеров на антифрикционные свойства АСП<sup>66</sup>. Использование этих полимеров в качестве связующих для АСП представляет не только теоретический, но и практический интерес, так как многие из них обладают высокой тепло- и термостойкостью, а также рядом специфических свойств: негорючестью, стойкостью к действию ионизирующих излучений, гидрофобностью. Свойства АСП определяются не только природой гетероатома, но и условиями формирования наполненной системы, химическим строением звена макромолекулы<sup>81</sup>.

Большой интерес с точки зрения создания термостойких АСП представляет использование в качестве связующих полимеров, в макромолекулы которых введены карборановые группировки, оказывающие значительное влияние на поведение этих полимеров при повышенных температурах<sup>92–94</sup>. Исследование *o*-, *m*- и *n*-карборансодержащих полiamидов и полиэфиров показало<sup>93–96</sup>, что при 400—500° С эти полимеры образуют «вторичные» структуры (пирополикарбораны) — термостабильные, сшитые, недеформируемые полимерные продукты. Структура и свойства пирополикарборанов зависят от метода синтеза, изомерии карборанового ядра, его расположения в звене макромолекулы. Наибольшей склонностью к образованию недеформируемых, термостойких пирополикарборанов обладают *m*-карборансодержащий полiamид и полиэфир, содержащий *o*-карборановую группу в бисфенольной части макромолекулы. На основе карборансодержащих полимеров возможно создание наполненных антифрикционных материалов двух типов: а) термопластичных, обладающих повышенной износстойкостью и термостабильностью при трении (до 350° С), и б) сшитых, недеформируемых, работоспособных в условиях сухого трения при 350—400° С. Коршак с сотр.<sup>68, 75</sup> создали новые термо- и теплостойкие АСП на основе карборансодержащих полiamидов, полиэфиров и наполнителей, работоспособные в узлах сухого

трения в отсутствие жидкой смазки до 400° С. Показано, что снижение коэффициента трения при 300—400° С для разработанных материалов в значительной мере определяется способностью карборансодержащих полимеров выделять водород при этих температурах<sup>91</sup>.

Работы<sup>63, 76, 81</sup> посвящены созданию АСП на основе кремний-, фосфор- и серусодержащих полимеров. В области фосфорсодержащих полимеров и мономеров обнаружено интересное свойство — стабилизация и модификация наполненных систем, что позволяет значительно расширить температурные границы применения материалов.

Большое внимание уделяется установлению зависимости между химическим строением полимеров и износостойкостью наполненных систем на их основе. Данные, полученные Коршаком с сотр.<sup>91</sup>, показывают, что создание термостойких износостойких материалов является сложной задачей, которая не может быть решена путем использования лишь более термостойких связующих и наполнителей, поскольку увеличение жесткости цепи макромолекулы приводит к значительному возрастанию вязкости расплава и повышению температуры переработки вплоть до начала термодеструкции полимера.

Существенное влияние на термофрикционные свойства оказывает физическая структура жесткоцепных полимеров, которая может формироваться как в процессе синтеза, так и при последующей термообработке. Коршак и др.<sup>97</sup> при исследовании термофрикционных свойств наполненных дисульфидом молибдена полиарилатов различной надмолекулярной структуры (глобуллярной и фибриллярной) показали, что во всем диапазоне температур величина коэффициента трения выше у образцов на основе полимера с фибриллярной структурой, что обусловлено его большей эластичностью и меньшей твердостью. Снижение температурных границ работоспособности в условиях трения для АСП на основе полиарилата с фибриллярной структурой связано с большей чувствительностью к температуре более сложных фибриллярных надмолекулярных образований.

Влияние надмолекулярной структуры на термофрикционные свойства АСП при использовании в качестве связующего поли(*m*-фениленизофталамида) (фенилона) исследовано в работе<sup>98</sup>. На основании полученных данных были разработаны новые антифрикционные пластмассы на основе самоармирующихся полимеров, имеющих одно и то же химическое строение, но различный тип надмолекулярной структуры, что обуславливало оптимальное сочетание фрикционных и прочностных свойств<sup>72</sup>.

Белый с сотр.<sup>99–101</sup> широко применили трибометрический метод для изучения влияния надмолекулярных образований на процессы трения полимеров, а также для исследования самосмазывающихся композиций на основе полимеров и сухих смазок. Эти исследования дают возможность оценить механизм трения самосмазывающихся материалов, влияние компонентов, их природы, дисперсности и физико-механических свойств на фрикционное поведение композиционного материала.

Таким образом, приведенные данные указывают на существенное влияние как химического строения звена и цепи макромолекулы, так и физической структуры полимеров на термофрикционные свойства наполненных систем. В то же время необходимо учитывать, что в формировании структуры и свойств наполненных систем важную роль играет и наполнитель, который должен обеспечить не только высокие смазывающие свойства материалов, но и их достаточную прочность<sup>84, 86, 97, 102, 103</sup>. Структура наполненной системы, ее свойства зависят как от природы наполнителя, так и от количественного содержания его в системе.

В зависимости от степени наполнения все материалы по своей смазывающей способности можно разделить на две группы <sup>71, 103</sup>. К первой группе относятся АСП, содержащие не более 15—30% полимера. Они обладают низким коэффициентом трения (0,04—0,12) и высокой износостойкостью. Для второй группы образцов, содержащих более 15—30% полимерного связующего, характерен неустановившийся режим сухого трения и высокий коэффициент трения. Граница «самосмазываемости» зависит от химического строения полимерного связующего, и с увеличением жесткости цепи макромолекул сдвигается в сторону большего содержания полимера в композиции АСП. В пределах «самосмазываемости» все материалы обладают высокой износостойкостью.

В качестве наполнителей — твердых смазок <sup>104</sup> в АСП используют дисульфид молибдена <sup>105, 106</sup>, графит <sup>107</sup>, дисульфид вольфрама <sup>108</sup>, фторированный графит <sup>109</sup>, сульфиды металлов <sup>110</sup>, нитрид бора <sup>111</sup>, окислы Pb, Mo, Co, Zn, Sn, Cu и других металлов, фториды металлов и другие твердые материалы <sup>112</sup>.

При создании многокомпонентных АСП следует учитывать сложные химические и физико-химические процессы, протекающие в полимерном связующем, наполнителях, а также в пограничных слоях в зоне контакта связующего и наполнителей при формировании наполненной системы. Механические характеристики наполненных полимеров во многом зависят от адгезионной связи на границе полимер — наполнитель <sup>9, 10, 15, 29, 113, 114</sup>. Обнаружен <sup>98</sup> особый характер взаимодействия компонентов на границе раздела полимер — наполнитель, проявляющийся в ориентации полимера в виде тонких полимерных пленок вдоль граней кристаллов наполнителя ( $\text{MoS}_2$ ). Полагают, что эти пленки осуществляют сцепление между кристаллами наполнителя. Следует отметить, что даже при высоком содержании наполнителя в АСП в некоторых случаях толщина пленки достигает нескольких микрон. В зависимости от содержания наполнителя в АСП и от его химической природы он проявляет пластифицирующее или упрочняющее действие <sup>83</sup>.

### III. ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ

Современные АСП в основном представляют собой наполненные многокомпонентные полимерные системы, в которые кроме твердых смазок вводятся различные порошкообразные наполнители: металлические порошки, коксовая мука, кварц, двуокись титана и др., а также волокнистые наполнители — целлюлозное, асbestosовое волокна и др. В процессе эксплуатации антифрикционного материала как отдельные компоненты, так и вся система в целом подвергаются химическим и физико-химическим превращениям. Температурные границы работоспособности АСП в узлах трения определяются как химическим строением полимерного связующего, его тепло- и термостойкостью, так и природой наполнителя, его дисперсностью, формой частиц, активностью по отношению к полимеру, соотношением компонентов и рядом других факторов <sup>102</sup>.

Создание новых термостойких износостойких АСП невозможно без детального изучения поведения исходных компонентов и наполненных систем на их основе при повышенных температурах, а также в процессе трения. Химическим и физико-химическим превращениям, протекающим в наполненных полимерных системах при повышенных температурах в процессе трения, посвящено сравнительно мало работ; большее внимание уделено изучению поведения чистых полимеров при трении.

Важное научное и практическое значение имеет изучение механизма фрикционного переноса при контакте полимера с полимерами, металлами и другими материалами<sup>19, 33, 34</sup>. В работе<sup>115</sup> показано, что в процессе трения металлополимерной пары полимер переносится на поверхность металла, образуя на ней мономолекулярный слой. При тяжелых режимах трения наблюдается перенос металла на полимер<sup>116, 117</sup>. Исходя из адгезионно-деформационного механизма фрикционного взаимодействия твердых тел<sup>16, 25</sup>, Свириденок и др.<sup>118</sup> исследовали фрикционный перенос полимерных пар на примере полимеров с различной адгезионной способностью и когезионной прочностью, таких как политетрафторэтилен, полиэтилен, полиметилметакрилат, поликапроамид и полиэтилентерефталат. Адгезионную способность исследуемых материалов авторы оценивали величиной критического поверхностного напряжения. Такой выбор позволил реализовать три характерных типа контакта материалов: неполярный полимер с неполярным (политетрафторэтилен — полиэтилен), неполярный с полярным (политетрафторэтилен — полиэтилентерефталат, поликапроамид), полярный с полярным (поликапроамид — полиметилметакрилат). Методом ИК-спектроскопии показано<sup>118</sup>, что перенос происходит с менее полярного на более полярный полимер, причем процесс переноса сопровождается разрушением исходного материала. Одновременно с этим происходят изменения в поверхностном слое материала контрагента. Существенное влияние на процесс переноса оказывает природа взаимодействующих материалов. Так, при использовании в паре с политетрафторэтиленом высокополярной поликапроамидной пленки на ее поверхности образуется сплошной прочный слой политетрафторэтилена толщиной 1 мкм. С увеличением времени контактирования и нагрузки происходит процесс аморфизации материала за счет разрушения макромолекул в поверхностном слое. Предполагается, что при трении образуются высокореакционноспособные радикалы типа  $-\text{CH}_2-\dot{\text{C}}\text{H}-\text{NH}-\text{CO}-$ . Возможность протекания свободно-радикальных реакций при фрикционном взаимодействии полимеров отмечается и другими исследователями<sup>116, 117</sup>.

В контактной зоне под влиянием трения идут процессы, изменяющие свойства поверхностных слоев трущихся тел. В случае металлополимерной пары это относится как к полимеру, так и к металлу. В месте контакта образуется тончайшее третье тело, свойства которого определяются условиями трения<sup>23</sup>. Оно образуется за счет покрытия более твердого тела пары трения тонким слоем более мягкого материала, адсорбции полярной смазки на поверхности, образования прочных химических соединений и др.

При трении полимеров деформационные и термические процессы способствуют развитию трибохимических явлений<sup>119, 120</sup>. Трибохимические превращения — сложный многоступенчатый процесс, который включает активацию контактирующих поверхностей трения, вызванную механическим деформированием (т. е. собственно подвод и поглощение механической энергии), и различные физико-химические процессы, протекающие под влиянием механической активации, которые способствуют превращению механической энергии в химическую<sup>121</sup>. Механо-химические превращения носят ступенчатый характер<sup>117, 121–124</sup>. Вначале протекают изменения на морфологическом надмолекулярном уровне (механическая дезагрегация), затем — на молекулярном уровне (механическая деструкция). Механическая деструкция приводит к химическим реакциям<sup>125–127</sup>, которые определяются структурой полимера. Изучены процессы, протекающие под влиянием механохимических воздействий в полиамидах<sup>128–130</sup>, фенолоформальдегидных полимерах<sup>129</sup>, полиэтиле-

не<sup>131–136</sup>, полиэтиленсульфиде<sup>132, 133</sup>, полиформальдегиде<sup>134</sup>, полиэтиленоксиде<sup>135, 137</sup>, полистироле<sup>134–138</sup>, полиметилметакрилате<sup>134–136</sup>.

Изучение поведения наполненных полимерных систем в процессе трения, особенно при повышенных температурах, позволило установить взаимосвязь между термохимическими и трибохимическими превращениями в полимерном связующем и в системе наполнителей<sup>138–142</sup>.

При трении наполненных АСП происходит образование поверхностных пленок антифрикционного материала как на поверхности образца, так и на стальном контроле. В дальнейшем процесс трения осуществляется между ними<sup>82, 138, 139</sup>. Характер образующихся пленок зависит от условий фрикционного контакта. Методами рентгеноструктурного и локального рентгеноспектрального анализа было установлено, что поверхностные пленки на контроле отвечают по химическому составу сопрягаемому антифрикционному материалу<sup>139</sup>. Коршак с сотр.<sup>139</sup> при исследовании поведения в процессе трения АСП на основе полиарилата показали, что полимерное связующее претерпевает значительные химические превращения (табл. 1) в зависимости как от условий фрикционного контакта (характер окружающей среды, температура), так и от

ТАБЛИЦА 1

Изменение молекулярно-массовых характеристик полиарилата Ф-1 при трении АСП на его основе<sup>138</sup> (условия фрикционного контакта:  $p = 2 \text{ кгс/см}^2$ ,  $v = 2 \text{ м/сек}$ )

Среда	$T, ^\circ\text{C}$	АСП состава: полиарилат Ф-1 — $\text{MoS}_2$		АСП состава: полиарилат Ф-1 — $\text{MoS}_2$ — Cu	
		$M^*$	[ $\eta$ ] в ТХЭ	$M$	[ $\eta$ ] в ТХЭ
Аргон	~50	14000 (44000)**	0,160 (0,284)**	34500 (27100)	0,356 (0,317)
Аргон	120	17500	0,185	28500	0,295
Воздух	~50	23600 (44000)	0,165 (0,284)	29500 (24600)	0,300 (0,265)
Воздух	120	24000	0,40	66900	0,265

\*\* Молекулярная масса  $M$  определена методом светорассеяния.

\* В скобках приведены исходные значения.

природы наполнителей. Как видно из табл. 1, при трении в аргоне антифрикционной пластмассы, состоящей из полиарилата Ф-1 (на основе изофталевой кислоты и фенолфталеина) и наполнителя —  $\text{MoS}_2$ , наблюдается снижение молекулярной массы полимера и пропорциональное снижение характеристической вязкости (по сравнению с исходными значениями), что свидетельствует о протекании в полимерном связующем деструктивных процессов. В условиях окислительной среды (трение на воздухе) в полимере протекают деструктивно-структурные процессы, приводящие к некоторому ветвлению цепей макромолекулы.

Интенсивность линейного износа АСП при трении в аргоне ниже, чем при трении на воздухе (табл. 2), что обусловлено окислением  $\text{MoS}_2$  на воздухе, приводящем к ухудшению его смазочных свойств, а также механо-деструктивными процессами в полимерном связующем. Повышение температуры на фрикционном контакте интенсифицирует механо-деструктивные процессы и уменьшает износстойкость АСП, состоящего из полиарилата Ф-1 и  $\text{MoS}_2$ . Наличие в составе АСП порошка меди изменяет характер механо-деструктивных процессов при трении как в аргоне, так и на воздухе. При температуре на фрикционном контакте  $50^\circ\text{C}$  в полиарилате протекают деструктивно-структурные процессы, приводящие к ветвлению и некоторому увеличению длины цепи полимера. Износстойкость АСП состава: полиарилат Ф-1 —  $\text{MoS}_2$  — Cu в

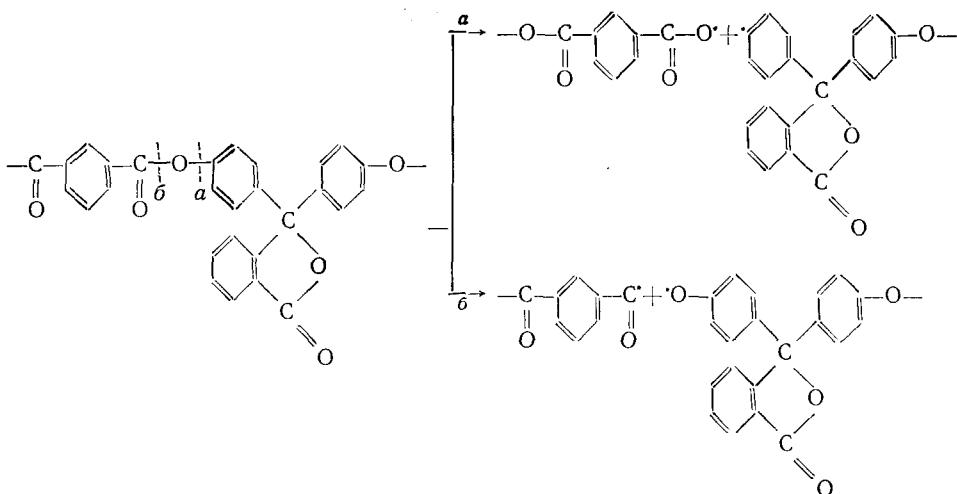
аргоне выше, чем на воздухе. Увеличение температуры на фрикционном контакте до 120°С в этом случае приводит к интенсификации механо-деструктивных процессов при трении на воздухе, что обусловливает образование частично сшитой структуры. Вследствие этого износостойкость антифрикционного материала уменьшается.

ТАБЛИЦА 2  
Износостойкость АСП на основе полиарилата Ф-1  
и различных наполнителей<sup>138</sup>

Среда	T, °C	Интенсивность линейного износа, I*·10 <sup>8</sup>	
		АСП состава: полиарилат Ф-1—MoS <sub>2</sub>	АСП состава: полиарилат Ф-1—MoS <sub>2</sub> —Cu
Воздух	50	2,0	1,05
Воздух	120	3,8	2,2
Аргон	50	1,5	0,5
Аргон	120	2,7	1,2

\* Отношение высоты сработанного слоя к пути трения при торцевом трении.

Предполагается, что трибохимические превращения наполненного MoS<sub>2</sub> полиарилата в среде аргона происходят по следующей схеме<sup>139—141</sup>:



Повышение разветвленности полимера, а затем и сшивание макромолекул может происходить также вследствие раскрытия лактонного цикла.

В процессе трения антифрикционный наполнитель претерпевает значительные изменения, выражющиеся в изменении размеров его частиц, некотором снижении термической устойчивости и в химическом взаимодействии с контактирующими поверхностями и сополимерами, что оказывает существенное влияние на смазочные свойства АСП<sup>140</sup>. Так, в поверхностной пленке, образованной на стальном контроле в процессе трения АСП состава полиарилат Ф-1—MoS<sub>2</sub>, при комнатной температуре методом рентгеновской дифрактометрии обнаружено сернистое железо<sup>139</sup>. В то же время при наличии в составе АСП меди обозначения сернистого железа не наблюдается, что обусловлено (судя по физико-механическим характеристикам) большей прочностью в этом случае связи полимер — наполнитель.

Методами ИК-спектроскопии, рентгеновской дифрактометрии и динамического термогравиметрического анализа показано, что в процессе трения в интервале температур 110—180°С образуются соединения внедрения атомов меди в решетку MoS<sub>2</sub>, что приводит к возрастанию коэффициента трения<sup>138, 139</sup>. Повышение температуры на фрикционном

ТАБЛИЦА 3

**Состав поверхностных пленок, образованных на стальной поверхности при трении АСП<sup>138, 139</sup>(условия испытаний:  $p = 2 \text{ кгс/см}^2$ ,  $v = 2 \text{ м/сек}$ )**

Состав АСП	T, °C	Время, час	Размер кристаллита, Å	Химическое соединение, полученное при трении
Полиарилат Ф-1 — MoS <sub>2</sub>	50	2	335	FeS
	120	10	335	FeS
	200	10	430	MoO <sub>2</sub>
Полиарилат Ф-1 — MoS <sub>2</sub> —Cu	50	2	103	—
	120	2	61	—
	200	10	47	MoO <sub>2</sub> , CuS

контакте до 200°С резко изменяет характер термофрикционных кривых. Анализ дифрактограмм поверхностной пленки, полученной в процессе трения (табл. 3), показал образование новых продуктов трибохимических превращений. При трении антифрикционной пластмассы состава полиарилат Ф-1—MoS<sub>2</sub> найдено, что в поверхностной пленке присутствует продукт окисления дисульфида молибдена — MoO<sub>2</sub>. Образование MoO<sub>2</sub> подтверждено и результатами электронографических исследований поверхности пленки<sup>139</sup>. Наличие меди в составе АСП более резко меняет характер термофрикционных кривых при температурах выше 200°С. Интенсивнее протекают и трибохимические процессы в поверхностных пленках. Наряду с MoO<sub>2</sub> в них обнаружены и незначительные количества сернистой меди<sup>138, 139</sup>.

Таким образом, состав и природа наполнителя существенно влияет на процесс образования поверхностных пленок при трении антифрикционных пластмасс и на трибохимические реакции, протекающие как в полимерном связующем, так и в системе наполнителей.

#### IV. СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ТЕРМОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПЛАСТМАСС

В данном разделе кратко рассмотрены свойства и области применения нескольких групп антифрикционных материалов на основе термостойких полимеров.

##### 1. АСП на основе фенолоформальдегидных смол

В качестве связующих при получении антифрикционных пластмасс широко используются фенолоформальдегидные смолы<sup>66, 69, 70, 143—151</sup>. Эти полимеры благодаря комплексу ценных свойств, в первую очередь термостойкости, теплостойкости и износостойкости, находят широкое применение в промышленности<sup>152, 153</sup>.

Для изготовления деталей узлов трения наиболее широко используются фенопласти — фенолоформальдегидные смолы с различными наполнителями, такими как стекловолокно, хлопковая вата<sup>154</sup>, хлопковые очесы<sup>155</sup>, прессованная древесина<sup>156</sup>, асbestosовые волокна<sup>157</sup> и др. Высокие смазывающие свойства фенопластов достигаются введением раз-

личных твердых смазок:  $\text{MoS}_2$ , графита, нитрида бора, политетрафторэтилена<sup>158—161</sup>. Другим распространенным материалом для изготовления узлов трения является текстолит. Из текстолита делают сепараторы шарикоподшипников, детали электромашин, насосов, автомашин. Используется текстолит в узлах трения со смазкой. Введение в текстолит  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , графита, селенидов или теллуридов металлов или их смесей позволяет увеличить работоспособность узла трения без применения дополнительной смазки<sup>162</sup>.

К недостаткам фенолоформальдегидных смол следует отнести хрупкость, нестойкость к вибрационным перегрузкам, а к недостаткам армированных материалов на основе этого реактопласта — низкую теплопроводность, поглощение некоторых жидкостей, высокий коэффициент термического расширения.

## 2. АСП на основе полиамидов

Из гетероцепных высокомолекулярных соединений наиболее известны в качестве антифрикционных материалов полиамиды<sup>163—167</sup>. Полиамиды широко применяются в машиностроении для изготовления шестерен и подшипников<sup>168—170</sup>, сепараторов, различных износостойчивых деталей<sup>171</sup>.

Коэффициент трения полиамидов и их износостойкость зависят от нагрузки и скорости скольжения<sup>172</sup>. Митрович<sup>172</sup>, изучая сухое трение полимеров различного химического строения, показал, что коэффициент трения полиэтилена низкого давления увеличивается с повышением температуры менее резко, чем у полиамидов, а у политетрафторэтилена снижается. Характер изменения коэффициента трения полиамидов с повышением температуры автор<sup>172</sup> связывает с их строением. Наличие у полиамидов полярных групп и водородных связей резко увеличивает энергию молекулярной когезии, что обусловливает повышенное межмолекулярное взаимодействие и взаимодействие между соприкасающимися поверхностями при трении, возрастающее при повышении температуры вследствие разрушения межцепочных водородных связей полиамидов. Значительное возрастание коэффициента трения наблюдается при некоторой «критической», характерной для каждого полимера нагрузке. Такое изменение коэффициента трения с нагрузкой сопровождается налипанием полиамида на стальную поверхность и снижением интенсивности изнашивания. Так, резкое возрастание коэффициента трения капрона до  $\sim 0,9$  при скорости скольжения  $\sim 1 \text{ м/сек}$  совпадает с появлением налипания полиамида на сталь.

Применение полиамидов в чистом виде как конструкционных материалов в узлах трения ограничивается их высокой гигроскопичностью, низкой теплопроводностью (в 100—400 раз меньше, чем у металлов), большим коэффициентом линейного расширения ( $9,8 \cdot 10^{-5}$ ), низкой твердостью, нестабильностью размеров, невысокой нагрузочной способностью при низких температурах<sup>173, 174</sup>. Для устранения указанных недостатков полиамидов в их состав вводят различные наполнители, такие, как графит<sup>175, 176</sup>, дисульфид молибдена<sup>165, 176, 177</sup>, нитрид бора, металлические порошки, волокнистые наполнители<sup>178</sup>, политетрафторэтилен<sup>175, 176</sup>. Наполнители повышают жесткость полиамидов, прочность при сжатии, уменьшают водопоглощение, снижают коэффициент линейного расширения, значительно улучшают фрикционные свойства.

Так, введение полиэтилена в антифрикционные композиции на основе поликапроамида способствует разделению активно взаимодействующих на молекулярном уровне поверхностей стали и полиамида и создает при тяжелых режимах работы условия для перехода от внешнего трения к

внутреннему с низким коэффициентом трения, обеспечивая длительную работоспособность узла сухого трения при этих режимах<sup>179</sup>.

Существенным недостатком антифрикционных пластмасс на основе полиамидов является их относительно низкая теплостойкость. Область рабочих температур для полиамидов ограничивается 80—140° С. С повышением температуры антифрикционные свойства полиамидов непрерывно ухудшаются. Показано<sup>183</sup>, что капрон и его композиции могут использоваться в узлах трения при температурах на поверхности трения не выше 100°, полиамид марки П-68 — до 130° С, а смешанный полиамид марки АК-7 — до 140° С.

### 3. АСП на основе полиимидов

Из циклоцепных полимеров в качестве антифрикционных материалов наиболее широко используются полиимиды<sup>71, 72, 74, 180—183</sup>. Для ароматических полиимидов характерна очень высокая термическая и термоокислительная устойчивость. Они могут применяться в интервале температур от —150 до +370° С. По износостойкости полиимидные материалы превосходят все известные пластики, что позволяет применять их в несмазываемых подшипниках. Полиимиды характеризуются высокой радиационной устойчивостью, стойкостью к солнечному свету и действию растворителей. Малая летучесть полиимидов в вакууме делает их перспективными антифрикционными материалами для применения в узлах трения, работающих в условиях космоса. Полиимиды, наполненные графитом или MoS<sub>2</sub>, используются для изготовления сепараторов шарикоподшипников<sup>181, 189, 191, 192, 194</sup>.

Исследовано влияние влаги на антифрикционные свойства пары полиимид — сталь<sup>195</sup>. Подача даже незначительного количества воды сопровождалась резким увеличением коэффициента трения и износа. Изменение антифрикционных свойств полиимида и композиций на его основе связано с протеканием механохимических процессов на поверхности трения под влиянием среды.

### 4. АСП на основе эпоксидных полимеров

Эпоксидные полимеры находят все более широкое применение в качестве связующего для изготовления антифрикционных материалов<sup>196—204</sup>. Подшипники на основе эпоксидов обычно используются при температурах от —50° до +230° С. При воздействии больших механических нагрузок верхний предел рабочих температур ограничивается температурой 155° С<sup>153</sup>. Обычно в качестве наполнителей в эпоксидных антифрикционных материалах используют графит, MoS<sub>2</sub>, металлические порошки, окиси металлов, кварцевый песок, а также волокнистые наполнители.

Полученный в<sup>204</sup> материал, представляющий собой эпоксидный пластик, наполненный графитом или MoS<sub>2</sub>, обладает высокой прочностью на сжатие, низким коэффициентом трения (0,08—0,09) и теплостойкостью до 200° С.

Для улучшения физико-механических свойств, повышения теплостойкости и смазывающих свойств эпоксидные смолы используют в композиции с полиарилатами<sup>205</sup>, фенолоформальдегидными<sup>206, 207</sup> и кремнийорганическими смолами<sup>200, 208</sup>, полисульфидами<sup>209</sup>, каучуками<sup>210</sup>.

Особым преимуществом материалов, приготовленных на основе эпоксидных смол, является их способность отверждаться при комнатной температуре и служить антифрикционным заливочным компаундом.

### 5. «АСП-пластики»

Разработанные Коршаком с сотр. научные основы создания термостойких антифрикционных материалов позволили получить ряд новых антифрикционных пластмасс, среди которых следует отметить «АСП-пластики»<sup>211</sup> различных марок (АМАН, ТЕСАН, ЭСТЕРАН, ВИЛАН и др.). Это многокомпонентные наполненные системы, в которых в качестве связующего использованы полимеры, обладающие комплексом необходимых свойств — термо- и теплостойкостью, стойкостью к радиационному облучению, химической стойкостью и технологичностью при переработке. По комплексу свойств «АСП-пластики» значительно превосходят известные материалы сухого трения — пластмассы на основе фторопласта-4 и наполнителей (табл. 4)<sup>211</sup>.

ТАБЛИЦА 4  
Температурные интервалы применения смазочных материалов

Смазки	T, °C
Жидкие смазки	-60 ÷ +150
Консистентные смазки	до +180
Смазка на основе фторопласта-4 «АСП пластики»	до +220 -100 ÷ +300

при изменении температуры. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения и давления обусловлена температурой окружающей среды. При температуре до 100° С допускаемые нагрузки на «АСП-пластики» при трении скольжения составляют 100—150 кгс/см<sup>2</sup>. «АСП-пластики» бензо- и маслостойки, вибропрочны, не боятся влаги, допускают длительные сроки хранения.

Чаще всего «АСП-пластики» применяются в подшипниках качения в качестве самосмазывающихся сепараторов, а также в виде втулок подшипников скольжения. В СССР созданы и внедрены в народное хозяйство несколько типоразмеров шарикоподшипников с сепараторами из «АСП-пластиков». Особенно перспективно применение «АСП-пластиков» при высоких температурах. Так, при температуре 250° С шарикоподшипники с сепараторами из «АСП-пластиков» после 1000 часов работы остаются в работоспособном состоянии. «АСП-пластики» можно применять в узлах трения скольжения, где требуются высокие скорости (до 16 000 об/мин) или высокие нагрузки (до 150—200 кгс/см<sup>2</sup>) при небольших скоростях перемещения вала, а также в том случае, когда необходимо реализовать поступательное движение после длительного неподвижного контакта<sup>211</sup>. Возможно также изготовление из «АСП-пластиков» малонагруженных шестерен, которые могут обеспечить высокие скорости вращения вала.

Преимущество «АСП-пластиков» особенно заметно при применении их в таких узлах трения, где из-за высоких температур, радиационного облучения и других условий невозможно использование других смазочных материалов.

\* \* \*

Таким образом, из приведенного обзора можно видеть, насколько сложной является проблема создания антифрикционных пластмасс. Однако в настоящее время уже определились некоторые закономерности связи между химическим строением термостойких полимеров и фрикционными свойствами наполненных полимерных систем; это открывает широкие возможности для получения новых материалов с заданными свойствами путем направленного изменения химического строения полимерного связующего.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О. Ф. Дегтярева, П. И. Земсков, Е. Н. Якушина, Е. Н. Харченко, В. В. Анищенко, Пласт. массы, 1964, № 6, 64.
2. М. М. Хрущов, в сб. Трение и износ в машинах, вып. VI, Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 52.
3. М. М. Хрущов, А. Д. Курицына, в сб. Трение и износ в машинах, вып. V, Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 76.
4. А. И. Шпагин, Антифрикционные сплавы, Металлургиздат, М., 1956, стр. 520.
5. Н. М. Рудницкий, Материалы автотранспортных подшипников скольжения, «Машиностроение», М., 1965.
6. Я. Г. Лишинец, Труды II Конф. по трению и износу в машинах, т. 1, Изд. АН СССР, М.—Л., 1947.
7. Г. Каравеев, М. И. Подщеколдин, Пластмассы в подшипниках скольжения, «Наука», М., 1965, стр. 42.
8. В. Э. Вайнштейн, Г. И. Трояновская, Сухие смазки и самосмазывающиеся материалы, «Машиностроение», М., 1968, стр. 179.
9. Ю. С. Липатов, в сб. Композиционные полимерные материалы и их применение, Тезисы докладов Всесоюзн. научно-технич. конф., Гомель, 1972, стр. 3.
10. Ю. С. Липатов, Физико-химия наполненных полимеров, «Наукова думка», Киев, 1967, стр. 233.
11. Ю. С. Липатов, в сб. Физическая химия полимерных композиций, «Наукова думка», Киев, 1974, стр. 3.
12. Ю. С. Липатов, Л. М. Сергеева, Адсорбция полимеров, «Наукова думка», Киев, 1972, стр. 3.
13. В. А. Белый, В. Ф. Анненков, Н. А. Екименко, В. И. Врублевская, в сб. Полимеры в промышленности, Гомель, 1968.
14. В. А. Белый, Н. И. Егоренков, Ю. М. Плескачевский, ДАН БССР, 14, 716 (1970).
15. А. А. Берлин, В. Е. Басин, Основы адгезии полимеров, «Химия», М., 1974, стр. 393.
16. И. В. Крагельский, Трение и износ, «Машиностроение», М., 1968.
17. В. С. Комбалов, Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ, «Наука», М., 1974.
18. Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев, Трение и износ полимеров, «Химия», Л., 1972.
19. В. А. Белый, А. И. Свириденок, М. И. Петраковец, В. Г. Савкин, Трение и износ материалов на основе полимеров, «Наука и техника», Минск, 1976.
20. Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков, Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов, «Машиностроение», М., 1974.
21. А. К. Погосян, Трение и износ наполненных полимерных материалов, «Наука», М., 1977.
22. С. Б. Айнбinder, Э. Л. Тюнина, Введение в теорию трения полимеров, «Зинатне», Рига, 1978.
23. И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов, Основы расчетов на трение и износ, «Машиностроение», М., 1977.
24. В. А. Белый, в сб. Стандартизация и унификация средств и методов испытаний на трение и износстойкость, вып. 1, М., 1975, стр. 8.
25. И. В. Крагельский, И. М. Любарский, А. А. Тусляков, Г. И. Трояновская, В. Ф. Удовенко, Трение и износ в вакууме, «Машиностроение», М., 1973.
26. Ф. П. Боуден, Д. Тейбор, и др. Смазка твердых тел, «Машиностроение», М., 1968.
27. Г. В. Виноградов, Ю. Я. Подольский, в сб. Всесоюзного симпозиума о природе трения твердых тел, «Наука и техника», Минск, 1971, стр. 281.
28. Н. М. Михин, Внешнее трение твердых тел, «Наука», М., 1977.
29. В. А. Белый, в сб. Всесоюзного симпозиума о природе трения твердых тел, «Наука и техника», Минск, 1971, стр. 168.
30. Тезисы докладов Всесоюзной научной конф. по теории трения, износа и смазки, ч. II ред. В. В. Коршак, Б. В. Дерягин, Ташкент, 1975.
31. Теория трения, износа и проблемы стандартизации, сб., ред. А. Ю. Ишинский, Приокское книжное изд-во, Брянское отделение, Брянск, 1978.
32. С. Б. Айнбinder, Механика полимеров, 1975, 421.
33. И. В. Крагельский, Там же, 1972, 797.
34. M. O. W. Richardson, Wear, 17, 89 (1971).
35. J. D. Graham, G. H. West, Plast. and Polym., 42, 217 (1974).
36. B. I. Briscoe, D. Tabor, Prepr. Div. Petrol. Chem. Amer. Chem. Soc., 21, 10 (1976).
37. С. Б. Айнбinder, Э. Л. Тюнина, Механика полимеров, 1977, 241.
38. С. Б. Айнбinder, Э. Л. Тюнина, Там же, 1977, 651.
39. В. А. Белый, А. И. Свириденок, В. С. Дубровский, ДАН СССР, 217, 547 (1974).
40. Г. В. Виноградов, В. А. Мустафаев, Ю. Я. Подольский, Ю. М. Малинский, Там же, 163, 1419 (1965).

41. D. H. Buckley, SAE Prepr., № 770016, 10 (1977).
42. В. В. Коршак, М. С. Акутин, А. И. Салин, И. А. Грибова, А. П. Краснов «Тр. Моск. хим.-технол. ин-та им. Д. И. Менделеева» 1972, вып. 70, 211.
43. С. Б. Айнбиндер, Н. Г. Андреева, Механика полимеров, 1967, 1070.
44. С. Б. Ратнер, И. И. Фарберова, Пласт. массы, 1967, № 1, 64.
45. Н. Д. Назаренко, А. Д. Юса, И. И. Белобородов, В. Ф. Чудовский, Н. И. Власко, Авт. свид. СССР № 538166 (1977); РЖМаш., 1977, 1248225.
46. Т. Ясукоки, К. Хироцугу, Яп. пат. 50-35106 (1975); РЖХим., 1976, 24T325.
47. А. В. Краснов, Е. Н. Зеленина, В. А. Краснов, Авт. свид. СССР № 466251 (1975); РЖХим., 1976, 22T112.
48. Р. М. Матвеевский, В. В. Поздняков, А. П. Семенов, в сб. Пластмассы в подшипниках скольжения, «Наука», М., 1965, стр. 65.
49. А. П. Семенов, Ю. Э. Савинский, Металлфторопластовые подшипники, «Машиностроение», М., 1976.
50. Л. А. Бланк, А. П. Макушкин, Б. В. Осташевский, М. П. Шебеко, Пласт. массы, 1973, № 8, 61.
51. Н. А. Спицын, К. Г. Ган, Т. И. Кузнецова, А. И. Гришова, Т. С. Щербакова, Тр. Моск. ин-та электрон. машиностр., 1974, вып. 41, стр. 16; РЖХим., 1975, 8T305.
52. Франц. пат. 2140775 (1973); РЖХим., 1974, 3C775П.
53. О. Л. Петров, А. Д. Кумраев, Пласт. массы, 1961, № 1, 46.
54. А. Д. Кумраев, Там же, 1964, № 6, 33.
55. Б. Л. Цетлин, Л. П. Янова, Г. К. Сибирская, П. А. Ребиндер, ДАН СССР, 114, 146 (1957).
56. П. А. Ребиндер, в сб. Углеграфитовые материалы и их применение в аппаратуростроении, Профиздат, 1958, вып. 5, стр. 39.
57. В. В. Коршак, в кн. Разновненность полимеров, «Наука», М., 1977, стр. 220.
58. В. В. Коршак, в кн. Термостойкие полимеры, «Наука», М., 1969, стр. 54, 211.
59. В. В. Коршак, в кн. Химическое строение и температурные характеристики полимеров, «Наука», М., 1970, стр. 33 и др.
60. В. В. Коршак, Е. С. Кронгауз, И. А. Грибова и др. Авт. свид. СССР № 276398 (1970); Бюлл. изобр., 1970, № 23.
61. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов и др. Авт. свид. СССР № 328144 (1972); Бюлл. изобр., 1972, № 6.
62. В. В. Коршак, С. В. Виноградова, И. А. Грибова и др. Авт. свид. СССР № 517613 (1976); Бюлл. изобр., 1976, № 22.
63. В. В. Коршак, К. А. Андрианов, И. А. Грибова и др. Авт. свид. СССР № 439169 (1977); РЖМаш., 1977, 1248226.
64. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов и др. Авт. свид. СССР № 493484 (1975); Бюлл. изобр., 1975, № 44.
65. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов и др., Авт. свид. СССР № 302021 (1973); Бюлл. изобр., 1973, № 10.
66. В. В. Коршак, И. А. Грибова, в сб. Композиционные полимерные материалы, «Наукова думка», Киев, 1975, стр. 110.
67. В. В. Коршак, С.-С. А. Павлова, И. А. Грибова и др. Авт. свид. СССР № 535329 (1976); Бюлл. изобр., 1976, № 42.
68. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская и др. Авт. свид. СССР № 378094 (1973); Бюлл. изобр., 1973, № 37.
69. V. V. Korschak, I. A. Gribova, I. V. Kragel'skii и др., Пат. ФРГ 1694470 (1971); С. А., 75, 77845 (1971).
70. V. V. Korshak, I. A. Gribova, A. P. Krasnov и др., Франц. пат. 1585880 (1970); С. А., 74, 76968 (1971).
71. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов и др. Авт. свид. СССР № 379592 (1973); Бюлл. изобр., 1973, № 20.
72. В. В. Коршак, Г. Л. Слонимский, С. В. Виноградова, И. А. Грибова и др., Авт. свид. СССР № 288302 (1970); Бюлл. изобр., 1970, № 36.
73. V. V. Korshak, I. A. Gribova, A. P. Krasnov и др., Пат. США 3652408 (1972); С. А., 77, 37347 (1972).
74. V. V. Korshak, I. A. Gribova, M. I. Kabachnik и др., Франц. пат. 2275508 (1976); С. А., 85, 95273 (1976).
75. V. V. Korshak, I. A. Gribova, A. N. Chumaevskaya и др., Пат. США 3850820 (1974); С. А., 83, 134840 (1975).
76. V. V. Korshak, K. A. Andrianov, I. A. Gribova и др., Пат. США 3821112 (1974); С. А., 82, 99382 (1975).
77. V. V. Korshak, I. A. Gribova, A. P. Krasnov и др., Англ. пат. 1405118 (1972); опубл. 3.9.1975 г.
78. V. V. Korschak, S. W. Winogradowa, I. A. Gribowa и др., Пат. ФРГ 1694458 (1969); опубл. 2.10.1969 г.
79. V. V. Korschak, I. A. Gribowa, A. P. Krasnow и др., Заявка ФРГ 2548194 (1976); С. А., 85, 126910 (1976).

80. В. В. Коршак, М. Е. Вольгин, И. А. Грибова, А. П. Краснов, Ю. Н. Новиков, И. В. Каменский, Пласт. массы, 1973, № 1, 20.
81. И. А. Грибова, В. В. Коршак, А. Н. Чумаевская, А. П. Краснов, С. В. Виноградова, Высокомол. соед., A12, 2408 (1970).
82. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов, А. Н. Чумаевская, Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, С. В. Виноградова, Механика полимеров, 1970, 481.
83. В. В. Коршак, Г. Л. Слонимский, С. В. Виноградова, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская, А. А. Аскадский, А. П. Краснов, М. К. Молдабаева, Пласт. массы, 1966, № 8, 56.
84. Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, В. В. Коршак, С. В. Виноградова, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская, А. П. Краснов, М. К. Молдабаева, Высокомол. соед., 8, 1109 (1966).
85. В. В. Коршак, Г. Л. Слонимский, С. В. Виноградова, И. А. Грибова, А. А. Аскадский, А. Н. Чумаевская, А. П. Краснов, К. А. Бычко, Пласт. массы, 1968, № 9, 35.
86. В. В. Коршак, И. А. Грибова, Д. Я. Цванкин, Т. М. Бабчинецер, А. Н. Чумаевская, Д. И. Гвенцадзе, А. П. Краснов, Там же, 1973, № 3, 41.
87. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов и др. Авт. свид. СССР № 556165 (1977); Бюлл. изобр., 1977, № 16.
88. W. W. Korschak, W. A. Sergeew, I. A. Gribowa, A. P. Krasnow, W. K. Schitikow, G. W. Elerdaschwil, G. I. Gureewa, Plaste und Kautschuk, 1974, 165.
89. В. В. Коршак, И. А. Грибова, Е. С. Кронгауз, А. П. Краснов, Г. В. Мамаашвили, Л. И. Комарова, Пласт. массы, 1978, № 2, 9.
90. Г. В. Мамаашвили, Канд. дисс. ИНЭОС АН СССР, М., 1977.
91. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов, А. В. Виноградов, см.<sup>31</sup>, стр. 282.
92. В. В. Коршак, С. В. Виноградова, А. И. Калачев, П. М. Валецкий, В. И. Станко, Высокомол. соед., A13, 848 (1971).
93. W. W. Korschak, I. A. Gribowa, A. N. Tschumajewskaja, N. I. Bekassowa, B. M. Mgeladze, S. W. Winogradowa, P. M. Walezki, T. M. Babtschinizer, L. G. Komarowa, E. K. Ljamenkowa, Plaste und Kautschuk, 1975, 324.
94. Б. М. Мгеладзе, В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская, Н. И. Бекасова, Л. Г. Комарова, С. В. Виноградова, П. М. Валецкий, Сообщ. АН ГрузССР, 81, 101 (1976).
95. В. В. Коршак, Г. Ш. Папава, Б. М. Мгеладзе, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская, Н. А. Майсурадзе, Там же, 70, 629 (1973).
96. Б. М. Мгеладзе, И. А. Грибова, А. Н. Чумаевская, Т. М. Бабчинецер, Л. Г. Комарова, Е. К. Ляменкова, Тезисы докл. 18 Конф. по ВМС, Казань, 1973, стр. 201.
97. В. В. Коршак, В. А. Белый, И. А. Грибова, А. И. Свириденок, А. В. Виноградов, А. Н. Чумаевская, В. М. Кенько, В. В. Невзоров, в сб. Проблемы трения и изнашивания, т. 6, «Наукова думка», Киев, 1974, стр. 163.
98. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов, О. С. Нацаренус, Т. М. Бабчинецер, А. Н. Чумаевская, Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, Г. А. Кузнецов, В. Д. Герасимов, Л. Н. Фоменко, Механика полимеров, 1969, 201.
99. W. A. Bely, V. G. Savkin, A. I. Sviridyonok, Wear, 18, 11 (1971).
100. В. А. Белый, М. И. Петроковец, В. Г. Савкин, А. И. Свириденок, Механика полимеров, 1969, 836.
101. А. И. Свириденок, В. М. Кенько, В. А. Белый, Там же, 1973, 102.
102. V. V. Korshak, I. A. Gribova, A. P. Krasnov, A. N. Chumaevskaya, ASLE-Proc. Int. Conf. Solid. Lubricat., Denver, Colorado, 1971, p. 222.
103. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов, А. Н. Чумаевская, А. В. Виноградов, см.<sup>30</sup>, стр. 4.
104. Y. Tsuya, J. Japan Soc. Lubric. Eng., 19, 755 (1974); РЖХим., 1975, 6П278.
105. А. Н. Зеликман, Молибден, «Металлургия», М., 1970, стр. 22.
106. T. Fuchikami, J. Japan Soc. Lubric. Eng., 19, 695 (1974); РЖХим., 1975, 6П281.
107. T. Dohi, Там же, 19, 691 (1974); РЖХим., 1975, 6П280.
108. M. Ohkage, Там же, 19, 699 (1974); РЖХим., 1975, 6П282.
109. Y. Takeda, Там же, 19, 705 (1974); РЖХим., 1975, 6П285.
110. K. Hirabayashi, Там же, 19, 712 (1974); РЖХим., 1975, 6П286.
111. M. Ishii, T. Kikkawa, Там же, 19, 702 (1974); РЖХим., 1975, 6П283.
112. W. Abe, Там же, 19, 708 (1974); РЖХим., 1975, 6П284.
113. Пластики конструкционного назначения (реактопласти), сб., ред. Е. Б. Тростянская, «Химия», М., 1974.
114. А. М. Пойманов, А. Р. Бельник, В. А. Захаров, В. И. Сахарова, Механика полимеров, 1968, 677.
115. I. Massot, Ind. Plast. Mod., 14, 19 (1962).
116. Г. А. Горюховский, Поверхностное диспергирование динамически контактирующих полимеров и металлов, «Наукова думка», Киев, 1972, стр. 70.
117. В. А. Мустафаев, Г. В. Виноградов, в сб. Теория смазочного действия и новые материалы, «Наука», М., 1965, стр. 118.

118. А. И. Свириденок, В. Г. Савкин, В. А. Смургов, В. А. Белый, Механика полимеров, 1973, 668.
119. В. А. Белый, А. И. Свириденок, В. Г. Савкин, М. И. Петроковец, Трение полимеров, «Наука», М., 1972.
120. Ю. М. Виноградов, см.<sup>29</sup>, стр. 135.
121. П. А. Ребиндер, см.<sup>29</sup>, стр. 8.
122. И. И. Агулов, Г. А. Горюховский, Механика полимеров, 1965, 114.
123. С. Н. Журков, А. Я. Сафостин, Э. Е. Томашевский, ДАН СССР, 159, 103 (1964).
124. P. J. Buttgren, W. A. Radzig, Plaste und Kautschuk, 19, 81 (1972).
125. H. K. Барамбайм, Механохимия полимеров, «Химия», М., 1971.
126. K. Симионеску, В. Опреа, Механохимия высокомолекулярных соединений, «Мир», 1970.
127. П. Ю. Бутягин, Успехи химии, 40, № 11, 1935 (1971).
128. В. А. Закревский, В. В. Баптизманский, Э. Е. Томашевский, Физика твердого тела, 10, 1701 (1968).
129. Ю. И. Пустовойт, А. А. Воронцов, Проблемы трения и изнашивания, сб. № 4, «Наукова думка», Киев, 1973, стр. 116.
130. E. M. Fettges, Химические реакции полимеров, т. 2, «Мир», М., 1967.
131. W. A. Sakrewski, J. K. Korsukow, Plaste und Kautschuk, 19, 92 (1972).
132. В. А. Закревский, В. В. Баптизманский, Э. Е. Томашевский, Физика твердого тела, 10, 1699 (1968).
133. В. А. Радзиг, П. Ю. Бутягин, Высокомол. соед., A9, 2549 (1967).
134. G. V. Vinogradov, V. A. Mustafaev, Yu. Ja. Podolski, Wear, 8, 358 (1965).
135. Т. С. Балаханова, А. Г. Бабаев, В. Б. Гусейнов, В. А. Мустафаев, см.<sup>29</sup>, стр. 407.
136. V. A. Mustafaev, M. A. Malnikova, V. B. Guseinov, Прерг. Int. Symp. Macromol. Helsingiki, 1972, v. 5, p. 133.
137. В. А. Закревский, Э. Е. Томашевский, Высокомол. соед., A8, 1295 (1966).
138. А. В. Виноградов, Канд. дисс., ИНЭОС АН СССР, М., 1975.
139. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. В. Виноградов, Я. В. Генин, А. П. Краснов, Д. Я. Цванкин, Б. В. Локшин, Г. Л. Гладышев, И. П. Лопутина, Механика полимеров, 1976, 649.
140. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. В. Виноградов, А. Н. Чумаевская, А. П. Краснов, Тезисы докл. конф. «Применение композиционных материалов в народном хозяйстве», Гомель, 1974, стр. 3.
141. И. А. Грибова, А. В. Виноградов, С. А. Павлова, А. Н. Чумаевская, Л. В. Дубровина, А. П. Краснов, В. А. Хомутов, В. В. Коршак, Механика полимеров, 1974, 634.
142. И. А. Грибова, А. В. Виноградов, А. П. Краснов, А. Н. Чумаевская, Л. В. Дубровина, см.<sup>96</sup>, стр. 211.
143. В. Я. Моторный, Г. П. Скорюков, см.<sup>30</sup>, стр. 15.
144. Ш. М. Билик, Пары трения метал — пластмасса в машинах и механизмах, «Машиностроение», М., 1966.
145. Е. Б. Тростянская, В. У. Новиков, Пласт. массы, 1966, № 7, 39.
146. О. Ф. Дегтярева, П. И. Земсков, Е. Н. Якушина, Е. Н. Харченко, В. В. Анищенко, Там же, 1964, № 6, 64.
147. H. Reinsch, Techn. Rundschau, 56, № 20, 41 (1964); РЖМаш., 1964, 1148316.
148. В. Г. Твердохлеб, Н. Ф. Кузьмин, Пласт. массы, 1967, № 3, 83.
149. С. Б. Ратнер, И. И. Фарберова, Там же, 1967, № 1, 64.
150. K. Kawasaki, Яп. пат. 10204 (1969); РЖХим., 1970, 7C721.
151. T. Liu, S. K. Rhee, Wear, 37, 291 (1976).
152. В. А. Сергеев, В. В. Коршак, В. К. Шитиков, Высокомол. соед., A9, 1952 (1967).
153. В. В. Коршак, Термостойкие полимеры, «Наука», М., 1969, стр. 94.
154. А. Такэфудзи, Яп. пат. 49-15954 (1974); РЖХим., 1975, 3T455.
155. X. Nagasai, Яп. пат. 49-14333 (1974); РЖХим., 1975, 4T373П.
156. Б. И. Купчинов, В. А. Белый, Л. А. Громыко, М. М. Рыженко, Авт. свид. СССР № 358192 (1972); РЖХим., 1973, 24C875.
157. J. C. Hodge, Plast. and Polym., 42, 157, 27 (1974).
158. G. E. Dodaon, C. S. White, Пат. США 3455864 (1969); РЖХим., 1970, 15C1017.
159. Яп. пат. 30572 (1970); РЖХим., 1971, 15C857.
160. W. Barthel, W. Uhlmann, Пат. ГДР 613931 (1968); РЖХим., 1969, 17C789.
161. В. М. Кенько, Н. И. Силькевич, Тезисы докл. III науч.-техн. конф. по применению полимерных материалов в машиностроении и приборостроении, Гомель, 1971, стр. 27.
162. Л. Н. Сентюрихина, Е. М. Опарина, Твердые дисульфид-молибденовые смазки, «Химия», М., 1966.
163. В. Н. Егоров, Пластмассы в подшипниках скольжения, «Наука», М., 1965, стр. 34.
164. В. П. Митрович, Пласт. массы, 1964, № 8, 63.
165. E. Zahn, Kunststoffe, 62, 1972, 628.
166. S. Miyake, Y. Katayama, J. Japan. Soc. Lubric. Eng., 18, 404 (1973).

167. S. A. Evauches, Швейц. пат 476831 (1969); РЖХим., 1970, 12C942.
168. В. П. Попов, Пласт. массы, 1963, № 9, 57.
169. И. Я. Альшиц, Н. Ф. Анисимов, Б. Н. Благов, Проектирование деталей из пластмасс, «Машиностроение», М., 1969.
170. А. Н. Раевский, Полиамидные подшипники, «Машиностроение», М., 1967.
171. В. Н. Лымзин, А. Г. Лейдор, А. К. Белопухов, Пласт. массы, 1961, № 8, 64.
172. В. П. Митрович, Исследование трения полиамидов по стали, Изд. АН СССР, М., 1963.
173. P. D. Mitchell, Brjt. Plast., 37, 616 (1964).
174. В. В. Жуков, Вестн. машиностр., 1962, № 9, 48.
175. H. Ichikawa, Plast. Age, 14, 81 (1968).
176. R. Reichherzer, Technica (Suisse), 26, 1128 (1977); РЖМаш., 1977, 1248159.
177. С. Н. Ганз, В. Д. Пархоменко, Пласт. массы, 1964, № 11, 37.
178. А. Н. Трофимович, А. И. Буря, И. А. Фомичев, см. <sup>140</sup>, стр. 13.
179. В. А. Белый, В. Г. Савкин, В. В. Невзоров, Вестник машиностр., 1977, № 11, 53.
180. Y. J. Lomoxy, J. T.O'Rourke, Mach. Design., 38, № 15, 158 (1966); РЖХим., 1967, 7C598.
181. M. J. Devine, A. E. Kroll, Lubricat. Eng., 20, 225 (1964); РЖХим., 1965, 6П220.
182. R. W. Hall, Англ. пат. 1084902 (1964); РЖХим., 1968, 22C405.
183. Т. С. Щербакова, А. П. Макушкин, М. П. Щебеко, А. И. Гришова, Е. Н. Гущина, В. Н. Ефремов, В. В. Родионов, Пласт. массы, 1974, № 5, 73.
184. G. H. West, J. M. Senior, Tribology, 6, 269 (1973).
185. J. P. Giltron, Там же, 6, 253 (1973).
186. Plast. mod. et élastom., 26, № 2, 89 (1974); РЖХим., 1974, 18C563.
187. F. P. Darmory, Proc. 31-st Ann. Conf. Reinforc. Plast., Compos. Inst., Washington, 1976, N. Y., 20-B/1 (1976); РЖХим., 1976, 24T182.
188. P. M. Magie, Des. Eng. (Canada), 17, № 5, 64 (1971); РЖХим., 1971, 23C682.
189. P. J. Fabian, Mater. Eng., 74, 26 (1971).
190. R. Kollmansberger, E. Birchfield, SAMPE Quart., 4, № 2, 28 (1973); РЖХим., 1973, 12C597.
191. Kunststoffe, 62, 491 (1972).
192. R. Reichherzer, Kunstst.-Berat., 20, 194 (1975); РЖХим., 1975, 22T133.
193. R. L. Fusaro, H. E. Sliney, ASLE Trans., 16, 189 (1973); РЖХим., 1974, 4C846.
194. Е. Р. Брейтзайт, Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия, «Химия», М., 1967.
195. Б. Н. Васильев, Тр. Новочеркас. политехн. ин-та, вып. 295, стр. 105 (1974); РЖХим., 1974, 15C947.
196. В. Gossmann, D. Keller, C. Maysenburg, VDJ-Zeitschrift., 105, 1342 (1963); РЖМаш., 1964, 548228.
197. R. Klaer, Пат. ФРГ 1504327 (1965); РЖХим., 1971, 11C738.
198. Пат. ГДР 60145 (1968); РЖХим., 1969, 19C739.
199. Ю. М. Кулагин, А. Т. Санжаровский, С. С. Евминов, Тр. Центр. н.-и. и проект.-констр. ин-та механиз. и энерг. лесн. пром-сти, 131, 150 (1973); РЖХим., 1974, 15C981.
200. В. А. Кислов, Ю. А. Евдокимов, К. И. Лысов, Авт. свид. СССР № 363728 (1973); РЖХим., 1973, 23C563.
201. Франц. пат. 1566200 (1969); РЖХим., 1970, 9C485.
202. Gummi-Asbest-Kunstst., 27, 924 (1974).
203. М. С. Тартаковский, Авт. свид. СССР № 127113 (1960); РЖХим., 1961, 7A254.
204. Chem. Eng., 69, № 26, 48 (1962).
205. Л. А. Родивилова, Н. М. Рязанова, В. В. Березников, В. М. Замазий, О. Г. Миронов, Авт. свид. СССР № 290036 (1970); Бюлл. изобр., 1971, № 2.
206. S. F. Calhoun, F. S. Meade, G. P. Murphy, Lubricat. Eng., 21, № 3, 97 (1965); РЖМаш., 1965, 1148489.
207. И. А. Фомичев, И. А. Усков, Ю. Г. Тарасенко, А. Н. Трофимович, О. Г. Приходько, И. С. Хитрин, Пласт. массы, 1968, № 11, 31.
208. К. А. Андрианов, Ю. Н. Васильев, Ю. Ф. Воробьев, С. А. Колесников, А. М. Сигарев, Л. М. Хананашвили, Авт. свид. СССР № 181222 (1966); РЖХим., 1967, 9П301.
209. Д. И. Горин, Л. М. Давидчевский, Э. П. Олешкевич, в сб. Полимеры в промышленности, Гомель, 1968, стр. 177.
210. J. Hlaváček, Пат. ЧССР 121341 (1964); РЖХим., 1969, 3C766.
211. Проспект «Антифрикционные самосмазывающиеся пластмассы (АСП-пластики)», Внешторгиздат, М., 1971 г.