

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Том VII

1965

№ 3

УДК 678.01:53

ЗАВИСИМОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕФОРМАЦИИ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗКИ В НЕТКАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

E. T. Устинова, С. С. Волоцкий

До сих пор при оценке механических и эксплуатационных свойств материалов, состоящих из волоконец, склеенных полимерным связующим (бумага, кожзаменители, нетканые текстильные материалы), исходят главным образом из значений сопротивления разрыву (или разрывной длины) и разрывного и остаточного удлинений [1–3]. Однако, как было показано нами [1, 4], подобная оценка волокнистых материалов совершенно недостаточна. Причина этого кроется в том, что при указанных методах испытания обычно не принимают во внимание как зависимость деформации от времени, так и зависимость предельной прочности и разрывного удлинения от скорости деформации материала. Кроме того, малая показательность принятых методов испытания объясняется тем, что они недостаточно отражают явления, которые происходят в материале до разрушения. Эти явления иногда более важны для поведения материала в эксплуатации, чем его разрывные нагрузки и удлинение.

Значение фактора времени при испытании волокнистых материалов, склеенных полимерным связующим, определяется тем, что они представляют собой не идеально-упругий или идеально вязкий материал, а сочетают в себе как упругие, так и вязкие свойства. Поэтому эти материалы формально сходны с рядом естественных и синтетических полимеров.

В свое время [1] было высказано предположение, что причина сходства свойств волокнистых материалов и полимеров определяется структурой этих материалов, состоящей из отдельных волоконец. Было также высказано мнение, что, несмотря на резкое отличие свойств структурных элементов подобных материалов от свойств молекул полимеров (неспособность волоконец или их участков совершать тепловое движение, иные соотношения длины и толщины волоконец и т. д.), между теми и другими, безусловно, имеется много общего. Это общее заключается в гибкости и вытянутой форме волоконец, что отвечает в какой-то степени таким же особенностям молекулярных цепей, а также в том, что отдельные волоконца в определенных местах склеены друг с другом или склеены между собою связующим, подобно тому как молекулы в полимере соединены в одно целое вследствие существования между ними ван-дер-ваальсовых взаимодействий, водородных мостиков или химических связей.

Недавно аналогичная мысль была высказана Каргином в отношении стеклопластиков и других армированных материалов [5]. Каргин считает, что стеклянная или какая-нибудь подобная ей по механическим свойствам нить является как бы моделью достаточно жесткой макромолекулы, а структуры, состоящие из таких нитей, скрепленных между собою связующим, могут служить моделью полимера. При этом, ориентируя в той или иной степени волокна и регулируя модель связующего и его содержание в материале, можно получать системы с весьма различными механическими свойствами, пригодные для совершенно различных целей.

Следует заметить, что подобные же соображения можно развить и в отношении обычных тканей и трикотажа, состоящих из отдельных волоконец, скрепленных друг с другом в результате скручивания при прядении и последующего переплетения в процессе ткачества или вязания. Именно поэтому в последнее время были сделаны попытки изучения упруговязких свойств таких материалов [6, 7]. Однако в связи со специфической структурой тканей и трикотажа, обусловленной процессами их изготовления, они по своему строению отстоят все же гораздо дальше от полимеров.

В настоящей статье, как и в последующей, приводятся данные, характеризующие упруговязкие свойства нетканых текстильных материалов, полученных пропитыванием волокна латексами. Такой выбор определялся тем, что вследствие большой длины и гибкости применяемого для получения подобных материалов волокна, а также благодаря дискретному расположению связующего в системе, эти материалы являются наиболее подходящими макромоделями полимеров.

Кривые напряжение (σ) — деформация (ε). Как в этом, так и в последующих разделах работы для исследования были взяты нетканые материалы, полученные из холстиков неориентированного хлопкового волокна путем его пропитывания бутадиеннитрильным латексом СКН-40-1ГП. Полимер этого латекса содержит сополимер бутадиена, акрилонитрила и метакриловой кислоты в соотношении 60 : 40 : 3. Нетканый материал изготавливали на специальной опытной установке ЦНИХБИ, образцы материалов содержали 38 и 59 % связующего от веса материала. Кроме того, были изготовлены образцы с тем же количеством связующего, полученные пропитыванием волокнистого холстика латексом при введении в последний термореактивной смолы в количестве 10, 20 и 30 % от веса полимера. Часть образцов после получения подвергали каландрированию при давлении 75 кг на погонный сантиметр при 120°.

Снятие кривых σ , ε производили на динамометре с самописцем, причем скорость раздвижения зажимов составляла 0,5 см/мин. Кривые σ , ε для образцов, содержащих 38 и 59 % полимера, приведены на рис. 1. На этом рисунке показаны кривые для образцов каландрированного материала, вырезанных в направлениях вдоль и поперек холстика. Из рисунка видно, что увеличение содержания в системе полимера приводит к повышению модуля и уменьшению разрывного удлинения. Это, очевидно, объясняется увеличением числа мест, в которых отдельные волокна склеены полимером, что, конечно, уменьшает возможность взаимного перемещения волокон или их участков и делает материал более жестким. Легко видеть, что здесь мы имеем полную аналогию с полимерами, жесткость которых возрастает с увеличением содержания в макромолекуле полярных групп, по которым могут устанавливаться межмолекулярные связи.

На модель и прочность материала сильнейшее влияние оказывает направление, в котором был вырезан образец из холстика. Образцы, вырезанные в продольном направлении, оказались гораздо более жесткими и прочными, чем образцы, вырезанные в поперечном направлении. Это, конечно, объясняется тем, что волокна материала, проходящего через пропиточную ванну и сушильную камеру, ориентируются в направлении движения холстика. Здесь снова напрашивается аналогия в отношении того, как действует ориентация элементов структуры на свойства нетканых материалов и на свойства полимеров.

На рис. 2 приведены кривые σ , ε для нетканого материала, пропитанного латексами, в которые были введены различные количества метизина. Общее содержание связующего в материале составляло 38 %. Все материалы не подвергались каландрированию. Образцы для исследования

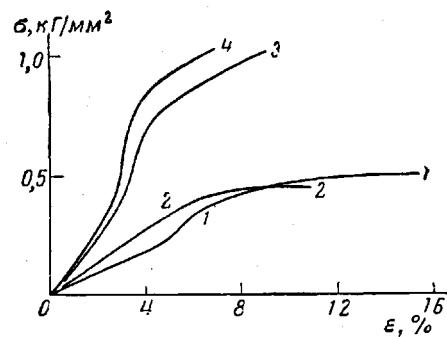


Рис. 1. Кривые σ , ε для нетканых текстильных материалов, содержащих различные количества латексного полимера:

1, 3 — материал, содержащий 38% полимера, 2, 4 — то же, 59% полимера; 1, 2 — образцы, вырезанные в поперечном направлении, 3, 4 — то же, в продольном направлении

вырезали в направлении вдоль холстика. Как можно видеть, кривые для материалов, полученных с применением метазина, имеют S-образную форму. Это указывает на упрочнение материала в предразрывной период, что характерно для многих полимеров. Во всех случаях применение метазина несколько увеличивает модуль и прочность материала. Наибольшее увеличение прочности дает введение в латекс 10% метазина от полимера.

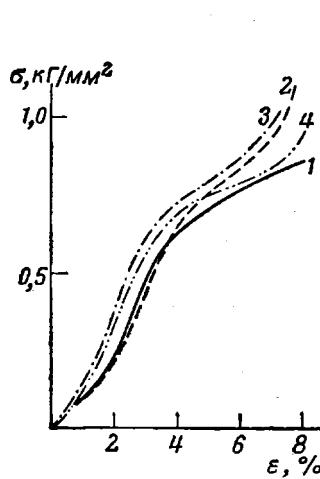


Рис. 2

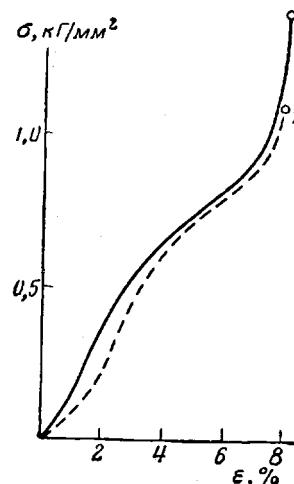


Рис. 3

Рис. 2. Кривые σ , ε для нетканых текстильных материалов, содержащих 38% связующего с различным количеством метазина:

1 — связующее не содержит метазина, 2 — связующее с 10% метазина, 3 — то же, с 20% метазина, 4 — то же, с 30% метазина

Рис. 3. Кривые σ , ε для некаландрированного и каландрированного нетканого текстильного материала, содержащего 38% связующего и 10% метазина от полимера:

1 — до каландрирования, 2 — после каландрирования

На рис. 3 приведены кривые σ , ε для нетканого материала, изготовленного подобно материалу, использованному в предыдущей серии опытов и содержащему 10% метазина от полимера. Отличие заключалось только в том, что часть материала была подвергнута каландрированию, тогда как другая часть этой операции не подвергалась. Как можно видеть, каландрирование значительно увеличивает прочность, но сравнительно мало влияет на модуль материала.

Гистерезисные явления при деформировании. Гистерезисные петли у исследовавшихся материалов снимали по методике, описанной в [8], на приборе типа экстенсометра Поляни при нагружении до напряжения, соответствующего 33% разрывной нагрузке образца.

На рис. 4 приведены гистерезисные петли первого и пятого циклов наружение — разгрузка для нетканого материала, полученного пропитыванием холстика чистым латексом и содержащего 38% связующего. Образцы были вырезаны в продольном направлении. Как можно видеть, площадь гистерезисных петель, характеризующая работу, перешедшую в тепло, сравнительно невелика, это свидетельствует об эластичности материала. При пятикратном повторении цикла происходит лишь весьма незначительное изменение величины и формы гистерезисной петли, что указывает на сравнительно малое изменение механических свойств материала при его многократной деформации.

На рис. 5 приведены гистерезисные петли, отвечающие первому циклу наружение — разгрузка материала, содержащего 38% связующего и раз-

личные количества метазина. Увеличение содержания метазина значительно увеличивает гистерезисные потери, делая материал менее эластичным.

Опыты, проведенные с холстиком, пропитанным 38%-ным содержанием связующего с 10% метазина от сухого остатка, показали, что после повторных циклов нагружение — разгрузка гистерезисные петли для такого материала имеют меньшую площадь, чем для материала, изготовлен-

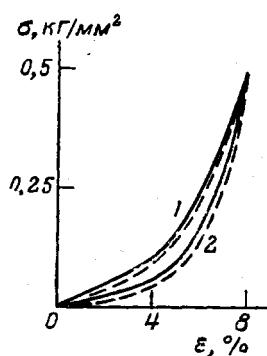


Рис. 4

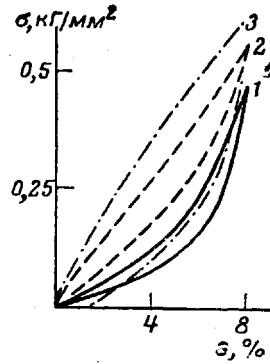


Рис. 5

Рис. 4. Гистерезисные петли для нетканого текстильного материала, содержащего 38% связующего (полимера): 1 — первый цикл, 2 — пятый цикл

Рис. 5. Гистерезисные петли (первый цикл) для нетканого материала, содержащего 38% связующего с различным количеством метазина:

1 — связующее не содержит метазина, 2 — связующее с 10% метазина, 3 — то же, с 20% метазина

ного с использованием одного латекса. Образцы, изготовленные с применением больших количеств метазина, обладали большей жесткостью и давали большие гистерезисные петли. Это говорит о том, что введение в латекс 10% метазина является оптимальным с точки зрения упруговязких свойств материала.

Кривые деформации (ε) — время τ . Кривые ε , τ находили обычным способом, путем подвешивания грузиков к полоскам, вырезанным из испытуемого материала. Грузики подбирали таким образом, что они соответствовали для каждого образца 60% от его разрывной нагрузки. Тотчас после приложения нагрузки регистрировалась упругая (мгновенная) деформация. Затем деформация нагруженных образцов регистрировалась через небольшие интервалы времени в продолжении 20 мин.

Кривые ε , τ для образцов, вырезанных в продольном и поперечном направлениях из материалов, содержащих 38 и 59% полимера латекса СКН-40-1ГП, приведены на рис. 6. Как можно видеть, форма кривых ε , τ и предельное значение деформации мало зависят от содержания в материале полимера. Можно лишь отметить, что у материала с большим содержанием связующего предельная деформация достигается несколько раньше. С другой стороны, на мгновенную деформацию и на развитие

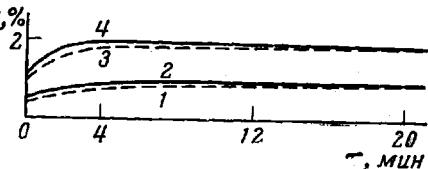


Рис. 6. Кривые ε , τ для нетканых текстильных материалов, содержащих различные количества латексного полимера:

1, 3 — материал, содержащий 38% полимера, 2, 4 — то же, 59% полимера; 1, 2 — образцы, вырезанные в продольном направлении, 3, 4 — то же, в поперечном направлении

деформации во времени сильно влияет направление, в котором вырезан образец. Как и можно было ожидать, нагруженные образцы, вырезанные в поперечном направлении, деформируются гораздо сильнее, чем образцы, вырезанные в продольном направлении.

Если графики ε, τ для нетканых текстильных материалов представить в полулогарифмическом виде (деформация — логарифм времени), то экспериментальные точки довольно хорошо ложатся на прямые. Это указывает на экспоненциальную зависимость ε от τ , что характерно и для полимеров. Отклонения имеют место лишь при очень длительных и очень коротких периодах времени.

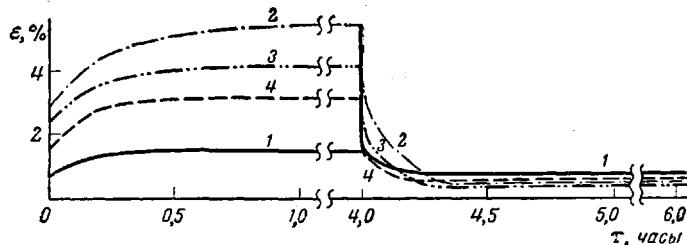


Рис. 7. Кривые ε, τ с последующей разгрузкой для нетканых текстильных материалов, содержащих 38% связующего с различным количеством метазина:

1 — связующее не содержит метазина, 2 — связующее с 10% метазина, 3 — то же, с 20% метазина, 4 — то же, с 30% метазина

Если после определенного времени действия нагрузки на образец полимерного материала нагрузку снять, то, как известно, обычно происходит частичное восстановление формы образца, называемое упругим последействием. Это позволяет разделить деформацию образца на упругую (мгновенную), эластическую и пластическую.

Как показали наши наблюдения, частичное восстановление формы деформированного образца наблюдается и в случае нетканых материалов.

На рис. 7 показано изменение деформации при нагружении и последующей разгрузке образцов, вырезанных в продольном направлении из материалов, содержащих один латексный полимер и латексный полимер с различными количествами метазина. Общее количество связующего равнялось 38% от веса материала. Нагрузка при деформировании образцов составляла 25% от разрывной. Из рисунка видно, что образцы, содержащие латексный полимер и метазин, обнаруживают большие мгновенную и предельную деформации при нагружении, чем образец, содержащий один латексный полимер. При этом интересно, что с увеличением содержания метазина выше 10% от веса полимера латекс мгновенная и предельная деформации снижаются. После снятия нагрузки деформация образцов, содержащих метазин, резко падает. Остаточная пластическая деформация в зависимости от содержания метазина в материале составляет после двух часов отдыха образцов всего 9—15% первоначальной деформации, тогда как для образцов, пропитанных одним латексом, она составляет 50% первоначальной. Это, конечно, указывает на большую пластичность образцов, полученных без применения метазина.

Выводы

1. Указана недостаточность для полной оценки нетканых текстильных материалов их характеристик, полученных при обычном определении прочности (сопротивление разрыву, разрывное и остаточное удлинение). В связи с тем, что нетканые текстильные материалы сочетают в себе

упругие и вязкие свойства, рекомендована их оценка методами, применяемыми для оценки механических свойств полимеров.

2. Обсуждены кривые напряжение — деформация, гистерезисные петли и кривые деформация — время для различных нетканых текстильных материалов, отличающихся составом связующего и его количеством в материале.

3. Показано, что по своим упруговязким свойствам нетканые текстильные материалы формально сходны с полимерами.

Центральный научно-исследовательский институт
хлопчатобумажной промышленности
Московский институт тонкой химической
технологии им. М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию

18 V 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Вуюцкий, И. Д. Лифшиц, А. А. Авилов, Эластопластические свойства обувных картонов, Научно-исследовательские труды ЦНИКЗа, 1952, № 4, 3.
2. Т. А. Сухова, Текстильная пром-сть, 1963, № 9, 10.
3. Н. Г. Овченко, З. Т. Дмитрушина, Л. В. Арикова, С. А. Павлов, Текстильная пром-сть, 1963, № 9, 30.
4. Е. Т. Устинова, С. С. Вуюцкий, Текстильная пром-сть, 1963, № 9, 3.
5. В. А. Карагин, Современные проблемы науки о полимерах. Изд. МГУ, 1962 г.
6. А. И. Кобляков, Изв. высш. уч. завед., Технология легкой промышленности, 1960, № 2, 119; 1962, № 5, 43.
7. А. И. Кобляков, Г. Н. Кукин, Изв. высш. уч. завед., Технология легкой промышленности, 1961, № 6, 23.
8. Н. Г. Овченко, Г. В. Федоров, С. А. Павлов, Изв. высш. уч. завед., Технология легкой промышленности, 1963, № 6, 32.

STRESS-STRAIN AND STRESS-LOADING TIME DEPENDENCE OF NON-WOVEN TEXTILES

E. T. Ustinova, S. S. Voyutskii

Summary

Data are presented characterizing the elastoviscosity properties of non-woven textiles which are the most suitable macromodels of polymers. Plots were made of the stress-strain, stress-loading time, and loading-unloading (hysteresis) relations. The data showed the relations to be completely analogous to those for polymers. Non-woven materials may in a certain sense serve as macromodels of polymers.