

## Влияние вибрации и температуры на несущую способность рулонов магнитных лент

Э. С. Уманский, Н. С. Шидловский, Л. Л. Стежко (Киев)

В статье [1] установлены некоторые закономерности нарушения сплошности рулонов магнитных лент (РМЛ) при работе в различных вибрационных режимах и безопасные области эксплуатации при комнатной температуре.

В то же время техническими условиями эксплуатации аппаратов магнитной записи предусмотрена работа рулонов при значительных вибрационных нагрузках в диапазоне температур  $-60 \dots 60^\circ\text{C}$  [1, 2]. С целью повышения надежности работы информационных систем, основанных на применении записи на магнитную ленту (МЛ), представляет значительный интерес определить закономерности изменения несущей способности РМЛ в экстремальных условиях с сочетанием вибраций и повышенных температур.

Влияние температуры на остальные напряжения, обеспечивающие монолитность РМЛ, достаточно подробно изучено в [4—6]. В частности, показано, что с понижением температуры РМЛ на полиэтилентерефталатной основе, намотанных на стальные или алюминиевые сердечники, ослабляются межвитковые давления в теле намотки. Эксплуатация рулонов при повышенных температурах влечет за собой активизацию релаксационных процессов и в ряде случаев потерю РМЛ несущей способности.

Ниже приведены экспериментальные результаты изучения влияния температуры и виброн нагрузок, а также их сочетания на несущую способность рулонов ПЭТФ магнитных лент, применяемых в различных системах записи и обработки информации.

Эксперименты выполняли на установке, созданной на базе электродинамического стенда ВЭДС-100Б [7] и снабженной термокамерой, которая позволяет автоматически поддерживать постоянную температуру в диапазоне  $20 \dots 80^\circ\text{C}$  с точностью до  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Контроль температуры РМЛ осуществляли медь-константовыми термомпарами, размещаемыми между витками.

Намотку рулонов МЛ шириной 6,25 мм производили на сплошные алюминиевые сердечники диаметром 90 мм и высотой 8 мм с заданным усилием натяжения ленты в диапазоне  $0,50 \dots 1,25$  Н при нормальной температуре. В процессе намотки на определенных радиусах между витками ленты помещали медь-константовые термомпары, спаи которых располагали в срединной плоскости рулонов. Максимальная толщина спаев термомпар не превышала 0,1 мм и практиче-

ски не оказывала влияния на распределение остаточных напряжений при намотке рулонов. Температуру тела намотки измеряли цифровым милливольтметром В7-21.

Измерение радиальных остаточных напряжений в намотанных РМЛ производили не только экспериментальным методом, основанным на вытягивании тонких пластинок [6], но и аналитически, используя модель цилиндрически ортотропного диска [4, 5, 7].

**Несущая способность РМЛ при длительных вибрациях.** В эксплуатационных условиях работы аппаратов магнитной записи возможны случаи длительного действия вибрационных нагрузок, представляющих существенную опасность для тела намотки в связи с проявлением эффектов диссипативного разогрева витков. При этом вследствие возникновения дополнительных (избыточных) температурных полей активизируются процессы релаксации остаточных напряжений, что вызывает преждевременную потерю несущей способности РМЛ.

Для исследования закономерностей диссипативного разогрева и связанного с этим уменьшения несущей способности РМЛ последние подвергали длительным поперечным колебаниям с ускорением  $100 \dots 300$  м/с<sup>2</sup> в резонансном режиме без вынужденного обдува.

На рис. 1 показано распределение избыточной температуры  $\Delta T$  по радиусу РМЛ. Видно, что увеличение ускорения колебаний и, следовательно, амплитуды циклической деформации, приводящее к существенному повышению  $\Delta T$ , практи-

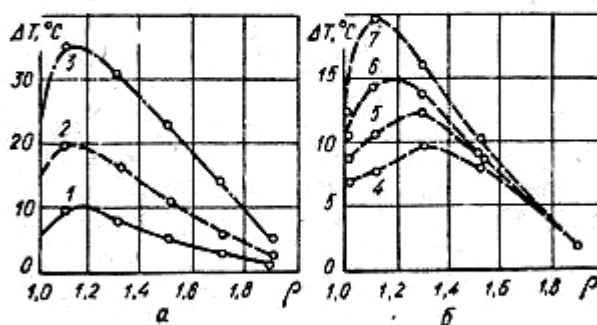


Рис. 1. Распределение избыточной температуры по радиусу рулона при диссипативном разогреве в режиме вынужденных поперечных колебаний: 1, 2, 3, 7 —  $H=1,25$  Н; 4 —  $H=0,75$  Н; 5 —  $H=1,00$  Н; 6 —  $H=1,10$  Н. (Сплошная линия получена при  $\ddot{a}=100$  м/с<sup>2</sup>; штриховые — при  $\ddot{a}=200$  м/с<sup>2</sup>; штрихпунктирные — при  $\ddot{a}=300$  м/с<sup>2</sup>.)



Рис. 2. Изменение избыточной температуры рулонов при диссипативном разогреве в режиме вынужденных поперечных колебаний: 1— $H=1,25$  Н; 2— $H=1,10$  Н; 3— $H=1,0$  Н.

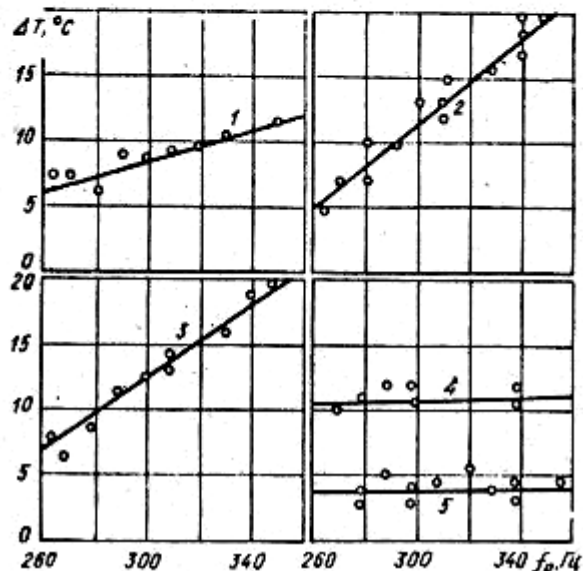


Рис. 3. Зависимости избыточной температуры от резонансной частоты колебаний при диссипативном разогреве рулонов в режиме вынужденных поперечных колебаний с ускорением  $200$  м/с<sup>2</sup> (продолжительность вибрации 2 ч): 1— $\rho=1,0$ ; 2— $\rho=1,1$ ; 3— $\rho=1,3$ ; 4— $\rho=1,5$ ; 5— $\rho=1,9$ .

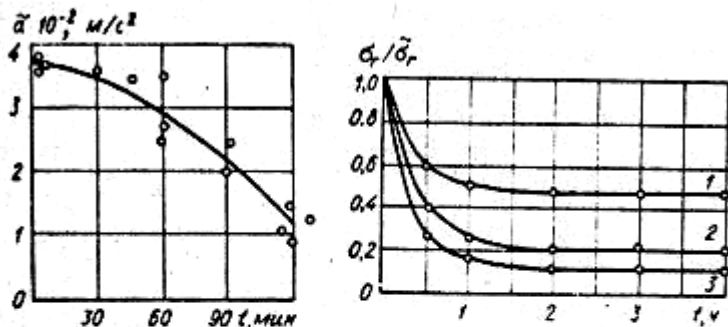


Рис. 4. Изменение разрушающего ускорения рулонов в случае диссипативного разогрева в режиме вынужденных поперечных колебаний при  $H=1,00$  Н.

Рис. 5. Релаксация радиальных напряжений в рулонах при вибрациях с ускорением  $100$  м/с<sup>2</sup> при комнатной температуре (1), при температуре  $60^\circ\text{C}$  без вибрации (2) и при совместном действии температуры и вибрации (3). ( $\rho=1,1$ ;  $\sigma_r$  — исходный уровень радиальных напряжений.)

чески не изменяет характер распределения температуры по радиусу катушки. В РМЛ, намотанных с меньшим натяжением ленты, т. е. обладающих пониженными уровнями  $\sigma_r$ , наиболее

разогретая область тела катушки смещена в сторону средних витков рулона.

Это обстоятельство, по-видимому, можно объяснить изменением соотношения между количеством тепла, выделяющимся вследствие циклического деформирования при изгибе РМЛ, и количеством тепла, выделяющимся из-за взаимных периодических смещений витков в аксиальном направлении. В рулонах с достаточно высокими уровнями остаточных напряжений преобладает первый из указанных механизмов тепловыделения и максимальная избыточная температура наблюдается в области, примыкающей к сердечнику, т. е. в области, где в результате изгиба тела катушки возникают максимальные напряжения. При ослаблении межвитковых давлений наряду с общим снижением избыточных температур активизируются процессы тепловыделения, связанные с межвитковым трением, которые проявляются в основном на участках с меньшими уровнями межвитковых давлений, т. е. вдали от сердечника.

На рис. 2 представлены результаты исследования кинетики процесса диссипативного разогрева РМЛ и связанного с ним уменьшения их несущей способности. Видно, что процесс диссипативного разогрева исследованных тел катушки при поперечных колебаниях с ускорением  $a=200$  м/с<sup>2</sup> практически стабилизируется после 2-часового воздействия вибраций.

Влияние величины резонансной частоты  $f_p$  на уровень и характер распределения избыточных температур по радиусу рулона показано на рис. 3. С ростом резонансной частоты (с увеличением усилия натяжения МЛ при намотке) избыточные температуры на различных радиусах катушки существенно повышаются. При этом изменяется и место расположения слоев МЛ, нагретых до максимальной температуры. Так, для РМЛ, намотанных с усилием натяжения  $0,50 \dots 0,75$  Н ( $f_p=250 \dots 280$  Гц), максимальные избыточные температуры при воздействии вибраций зарегистрированы на относительных радиусах  $\rho=r/R_a=1,5 \dots 1,6$  ( $r$  — текущий радиус,  $R_a$  — радиус сердечника). Для рулонов, намотанных с максимально допустимым усилием натяжения, равным  $1,25$  Н ( $f_p=360$  Гц), указанная область смещается непосредственно к сердечнику ( $\rho=1,0 \dots 1,1$ ).

Ряд РМЛ после вибрационной наработки с ускорением  $a=200$  м/с<sup>2</sup> в течение  $30 \dots 120$  мин и охлаждения до комнатной температуры подвергали разрушению при кратковременных вынужденных поперечных колебаниях с частотой  $f=(0,5 \dots 0,6) f_p$ . Уменьшение разрушающего ускорения РМЛ, намотанных с усилием натяжения ленты  $1$  Н, в процессе действия указанных нагрузок иллюстрирует рис. 4.

Необходимо отметить следующую особенность

изменения несущей способности РМЛ при диссипативном разогреве. Согласно работам [4, 6] в РМЛ на полиэтилентерефталатной основе, намотанных на алюминиевые сердечники, при повышении температуры наблюдается существенное увеличение радиальных сжимающих напряжений, а для начальной стадии процесса диссипативного разогрева характерно некоторое упрочнение рулонов. Однако в дальнейшем вследствие релаксационных процессов и охлаждения тела намотки уровень межвитковых давлений оказывается ниже первоначального, т. е. измеренного непосредственно после намотки, что приводит к общему снижению несущей способности рулона.

Так, если 2-часовое воздействие резонансных колебаний с ускорением  $a=200$  м/с<sup>2</sup> не вызвало разрушения разогретых рулонов, то после охлаждения до комнатной температуры они разрушались в интервале ускорений 100...150 м/с<sup>2</sup> (рис. 4), т. е. значение разрушающего ускорения снизилось более чем в три раза по сравнению с исходной аналогичной величиной.

**Напряженное состояние рулонов при совместном действии тепловых и вибрационных нагрузок.** Как указывалось, несущая способность РМЛ в различных эксплуатационных условиях обеспечивается полем радиальных сжимающих напряжений, возникающих в результате силовой намотки МЛ на жесткий сердечник. Основное внимание при проведении экспериментов было уделено изучению закономерностей изменения этих напряжений при действии вибрации и температуры.

Рулоны МЛ на полиэтилентерефталатной основе наматывали на алюминиевый сердечник диаметром 90 мм с постоянным усилием натяжения, равным 1 Н. Внешний диаметр сформированных рулонов составлял 180 мм. Предварительные эксперименты, произведенные на 12 РМЛ, позволили установить исходный (начальный) уровень радиальных напряжений, измеренных непосредственно после намотки.

Поскольку, как показала практика эксплуатации РМЛ при вибрационных и тепловых воздействиях, нарушение сплошности рулонов происходит главным образом в области, примыкающей к сердечнику ( $\rho=1,00 \dots 1,15$ ), основное внимание уделяли исследованию напряжений в указанных границах, что дало возможность существенно сократить объем экспериментов.

Осуществлены три режима испытаний:

- 1) вибрации в резонансном режиме с ускорением 100 м/с<sup>2</sup> при комнатной температуре;
- 2) термообработка при температуре 60 °С в течение 0,5...4 ч;
- 3) вибрации в резонансном режиме с ускорением 100 м/с<sup>2</sup> при температуре 60 °С.

Заметим, что наиболее существенный вклад в процесс релаксации остаточных напряжений рулона вносит температурный фактор. Как видно из рис. 5, различие между уровнями напряжений после «чисто температурной» обработки и вибрационного воздействия при повышенной температуре не превышает 10 % по сравнению с исходным уровнем напряжений. Различие между уровнями напряжений после «чисто вибрационного» и температурно-вибрационного воздействий существенно больше (45 % на радиусе  $\rho=1,3$ ).

На рис. 6 показано изменение радиальных напряжений по радиусу намотки при различных режимах эксплуатации рулонов в течение 4 ч. Видно, что наиболее интенсивное изменение указанных напряжений происходит на относительном радиусе намотки  $\rho \approx 1,1$ . Это обстоятельство объясняется тем, что в указанном слое

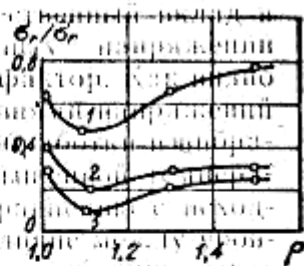


Рис. 6. Изменение радиальных напряжений в рулоне в случае вибраций с ускорением 100 м/с<sup>2</sup> при комнатной температуре (1), при температуре T=60 °С, без вибраций (2) и при совместном воздействии температуры и вибрации (3).

Радiallyе напряжения определяли в рулонах, охлажденных до комнатной температуры струей воздуха в течение 15 мин, через 0,5; 1; 2; 3; 4 ч после начала опыта.

На рис. 5 изображены кривые релаксации радиальных напряжений в указанных трех режимах эксплуатации, построенные в координатах  $\sigma_r/\sigma_r0 \approx t$ , где  $\sigma_r$  — текущее значение радиального напряжения,  $\sigma_r0$  — исходный уровень радиального напряжения,  $t$  — время.

Как видно, в рулонах, подвергаемых тепловым и вибрационным нагрузкам (как совместным, так и раздельным), происходит интенсивная релаксация остаточных напряжений, что значительно уменьшает несущую способность РМЛ. Так, вынужденные колебания с резонансной частотой в течение 1...4 ч при температуре 60 °С уменьшают радиальные напряжения на 70...90 %. Наиболее активное снижение радиальных напряжений при испытаниях в трех режимах наблюдается в начальный период (первые 30...60 мин), после чего наступает стабилизация при низких значениях остаточных напряжений.

Сравнивая изменение напряженного состояния рулона при раздельном и совместном воздействии вибраций и температуры, видим, что наиболее существенно напряжения уменьшаются в процессе одновременного воздействия указанных факторов. За 4 ч вибрации при T=60 °С рулон на радиусе  $\rho=1,1$  практически потерял несущую способность (кривая 3 на рис. 5).

Заметим, что наиболее существенный вклад в процесс релаксации остаточных напряжений рулона вносит температурный фактор. Как видно из рис. 5, различие между уровнями напряжений после «чисто температурной» обработки и вибрационного воздействия при повышенной температуре не превышает 10 % по сравнению с исходным уровнем напряжений. Различие между уровнями напряжений после «чисто вибрационного» и температурно-вибрационного воздействий существенно больше (45 % на радиусе  $\rho=1,3$ ).

На рис. 6 показано изменение радиальных напряжений по радиусу намотки при различных режимах эксплуатации рулонов в течение 4 ч. Видно, что наиболее интенсивное изменение указанных напряжений происходит на относительном радиусе намотки  $\rho \approx 1,1$ . Это обстоятельство объясняется тем, что в указанном слое



рулона находятся наиболее разогретые при диссипативном разогреве витки (рис. 1) и, следовательно, более активны реологические эффекты. В связи с этим расслоение рулонов при совместных температурно-вибрационных воздействиях наиболее вероятно на радиусе  $\rho \approx 1,1$ , что подтверждено соответствующими экспериментами.

#### Summary

Temperature and vibratory loads are experimentally studied for their effect when being combined on supporting ability of rolls with magnetic polyethyleneterephthalate-base tapes applied in different systems of information recording and processing. Certain regularities in breaking of magnetic tape roll discontinuity under operating conditions of long-term vibrations within the working temperature range are established.

1. Уманский Э. С., Шидловский Н. С., Стежко Л. Л. Несущая способность рулонов магнитных лент при вибрационных нагрузках // Пробл. прочности.— 1986.— № 11.— С. 52—56.
2. ГОСТ 16962—71. Изделия электронной техники и электроники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.— Введ. 12.05.71.
3. Справочник по технике магнитной записи / В. И. Антонов, В. П. Веклич, Л. П. Водяницкий и др. / Под ред. О. В. Поринского, Е. Н. Травникова.— Киев: Техника, 1981.— 319 с.
4. Уманский Э. С., Крючков В. В., Шидловский Н. С. К оценке влияния температурного фактора на несущую способность рулона магнитной ленты // Пробл. прочности.— 1981.— № 8.— С. 62—65.
5. Уманский Э. С., Крючков В. В., Шидловский Н. С. Несущая способность рулонированных полимерных пленок // Там же.— 1980.— № 10.— С. 104—113.
6. Уманский Э. С., Шидловский Н. С. Экспериментальное исследование остаточных напряжений в рулонах магнитных лент // Там же.— 1983.— № 10.— С. 43—49.
7. Исследование резонансных частот при поперечных колебаниях рулонов магнитных лент / Э. С. Уманский, Н. С. Шидловский, В. В. Крючков и др. // Там же.— № 5.— С. 81—85.

Киев. политехн. ин-т

Поступила 29.12.85