

# **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВОГО СИЛОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ И ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*С.С.Негматов, Т.У.Улмаксов,*

*Н.С.Абед, Б.М.Тожибоев*

*ГУП «Фан ва тараккиёт» ТГТУ им. И.Каримова*

Для получения качественного полимерного покрытия с большим запасом прочности, кроме прочностных и адгезионных свойств, необходимо знать закономерности возникновения и изменения внутренних напряжений. Для определения внутренних напряжений в последнее время широко применяются оптические, механические и аналитические методы и установки на их основе.

Надо отметить, что существующие методы и установки не в полной мере качественно определяют значение внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях, особенно кинетику образования в процессе отверждения и в процессе понижения их в покрытиях. Поэтому возникает необходимость разработать более эффективный метод и установку для качественного определения внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях, позволяющих более точно определить её значение.

Наибольшее распространение получил консольный метод определения внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях металлов, когда напряжения определяют по отклонению свободного конца упругой пластинки с другим закрепленным концом.

В антикоррозийных покрытиях толщина пленки оказывает существенное влияние на долговечность.

С увеличением толщины покрытия, при постоянной толщине подложки, резко увеличивается величина погрешности при определении внутренних напряжений консольным методом.

Определение внутренних напряжений осуществляется следующим образом. На подложку прямоугольной формы длиной « $l$ » и толщиной « $t$ » наносится с одной стороны покрытие  $\Delta t$ . Образец одним концом неподвижно закрепляется в приборе. При отверждении покрытия в нем возникают растягивающие внутренние напряжения, которые изгибают подложку, отклоняя ее свободный конец от нулевого положения на величину « $h$ » расчётная. схема которых показаны на рисунки 3.3

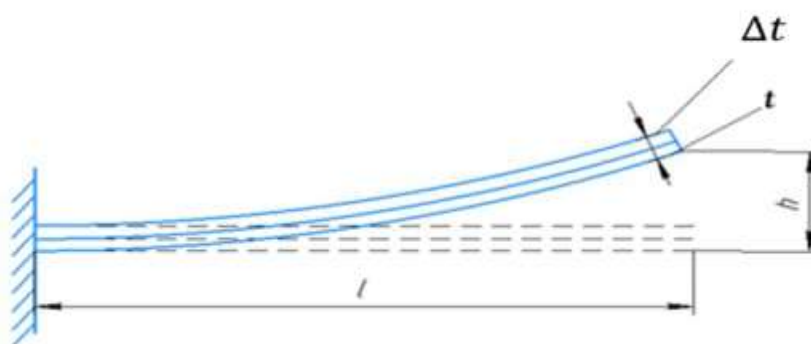


Рис.3.3. Расчетные схемы при определении внутренних напряжений консольным методом.

Внутренние напряжения консольным методом, разработанным профессором Санжаровским [1] определяются следующей формулой:

$$\sigma = \frac{hE_1 t^3}{3l^2(t + \Delta t)\Delta t} + \frac{hE_2(t + \Delta t)}{l^2} \quad (3.1)$$

Где  $\Delta t$ -толщина покрытия

$t$ - толщина металлической подложки

$L$ -длина испытуемого образца - пластинки с покрытием

$B$  – ширина подложки

$h$ - величина отклонения подложки с покрытием от нулевого положения

$E_1$  и  $E_2$  – модуль упругости соответственно материала подложки и покрытия.

Так как модуль упругости покровной полимерной пленки  $E_2$  примерно на два порядка меньше чем металлической подложки  $E_1$ , то для тонких покрытий, при которых  $t > 3\Delta t$ , второй член в практических расчетах можно не принимать

во внимание. При этом ошибка не превысит 1% и расчет внутренних напряжений можно вести по упрощенной формуле

$$\sigma = \frac{hE_1 t^3}{3l^2(t + \Delta t)\Delta t} \quad (3.2)$$

где,  $E_1$  и  $E_2$  модуль упругости подложки и покрытия соответственно.

Учитывая [3-6] возникающие принципы работы консольного метода, а также уменьшения натяжения пленки в связи с изгибом подложки при консольном методе, приводящих к изменениям условий протекания релаксационных процессов в пленке, на базе этого метода нами совместно с учеными и научными сотрудниками в Гуп «Фан ва тараккиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова разработан силовой метод и сконструирована универсальная установка для измерения внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях на упругой металлической подложке, которые определяются по усилию развиваемому концом консольно закрепленного образца.

При этом основные параметры и геометрические формы установки для изучения внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях определены на основе исходных данных металлической подложки, измерительных, отсчитывающих устройств по конструктивным соображениям.

Замерив усилие на свободном конце подложки, можно определить внутренние напряжения в полимерных и лакокрасочных покрытиях. Однако, для практического вычисления внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях, необходимо предварительно определить величины значения модуля упругости покрытия в данных конкретных условиях. Определение модуля упругости покрытия на различных этапах эксперимента затруднительно.

По аналогии с биметаллическими элементами предлагается применять образцы, в которых отношение между толщиной полимерных и лакокрасочных покрытий и толщиной подложки выражается следующим уравнением:

$$\frac{\Delta t^2}{t^2} = \frac{E_1}{E_2} \quad (3.4)$$

Тогда уравнение для определения внутренних напряжений полимерных и лакокрасочных покрытиях упростится:

$$\sigma = \frac{P * l}{\Delta t * b} * \left[ \frac{t}{3(t + \Delta t)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right] \quad (3.5)$$

Обозначив:

$$K_0 = \frac{l}{\Delta t * b} \left[ \frac{t}{3(t + \Delta t)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right] \quad (3.6)$$

Тогда при определении внутренних напряжений в покрытиях предлагаемым нами силовым методом определяются по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{вн}} = K_0 * P \quad (\text{МПа})$$

где, Р- усилие, развиваемое свободным концом испытуемого образца возникающее в процессе отверждения полимерных и лакокрасочных покрытий на поверхности металлической пластинки.

Последнее уравнение удобно для расчетов при проведении экспериментов. Принятое допущение о постоянстве модуля упругости полимерных и лакокрасочных покрытий не приводит к большим ошибкам.

Так, при фактическом снижении модуля упругости полимерных и лакокрасочных покрытий на 50 % ошибка при определении внутренних напряжений в них составит всего 0,8%, а при снижении модуля упругости металлической подложки на 80%-не более 1,5%.

где,  $K_0$  –коэффициент, учитывающий геометрические параметров подложки и покрытия.

Для разработки силового метода при определении значения Р-усилие, развиваемые свободным концом испытуемого образца возникающие в процессе отверждения полимерных и лакокрасочных покрытий на поверхности металлической пластинки, основным характеризующим показателем является

деформационный модуль, роль которого исполняет обыкновенная стальная проволочная пружина, конструкция которой показана на рис 3.1

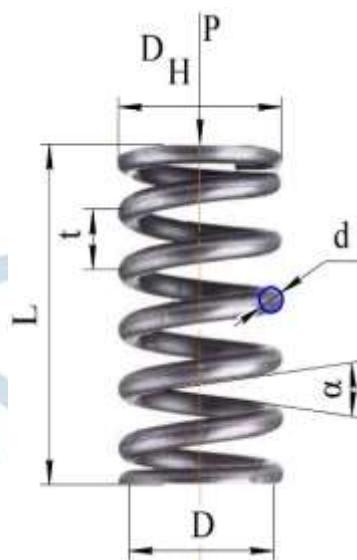


Рисунок 3.1 Конструкция стальной проволочной бытовой и цилиндрической пружины

Основными геометрическими параметрами винтовых цилиндрических пружин из проволоки круглого поперечного сечения являются:

$d$ -диаметр проволоки.

$D_H$ -ноаружный диаметр пружины:

$D$ -средний диаметр пружины:

$t$ -шаг пружины:

$\alpha$ -угол подъёма витков:

$L$ -длина развернутой пружины

Необходимо отметить, что основной характеристикой пружины является ее податливость, величина которой прямо пропорциональна индексу пружины  $C$ ,

$C$  индекс значение зависит от соотношения

$$C = \frac{D}{d}$$



от диаметра проволоки пружины и наружного диаметра пружины которые приведены ниже.

**Таблица 3.1**

d	<2,5	3-6	6-12	C=D/d
C	5-12	4-10	4-9	

Обычно, при изменении силы пружины от  $P_1$  до  $P_2$  жёсткость пружины определяется по формуле.

$$Z = (P_2 - P_1) / h$$

где,  $P_1$ -преварительная деформация обычно определяется по формуле

$$P_1 = (0,1/0,5) P_2$$

$P_2$ -рабочая деформация соответствует наибольшему принудительному перемещению подвижного звена.

$h$ -рабочий ход пружины, величина которого вычисляется по условиям работы установки.

Жёсткость одного витка пружины определяется по формуле:

$$Z_1 = Gd / 8c^3,$$

где, **c**- индекс пружины (значения приведены в таблице)

где, **G**-модуль сдвига материала проволоки пружины.

Для стали  $G=8000 \text{ кгс/см}^2$  и, следовательно для стальной пружины

$$Z_1 = 1000d / c^3,$$

где,  $Z_1$ -кгс/мм  $d$ -мм.

Деформация пружины определяется следующим образом: (мм)

$$F = P / Z,$$

При этом усиже  $P$  определяет следующей  $P=F \cdot Z (H)$

Усилие  $P$  определяется при неизогнутом образце, что дает возможность изучить кинетику изменения внутренних напряжений при полном натяжении пленки, т.е. в условиях, приближающихся к эксплуатационным состояниям.

Таким образом, внутренние напряжения полимерных и лакокрасочных покрытий по силовому методу определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{вн}} = K_o \cdot F \cdot Z = \frac{l}{\Delta t \cdot b} \left[ \frac{t}{3(t + \Delta t)^2} + \frac{1}{\Delta t} \right]$$

Релаксационные процессы при этом протекают при напряжениях больших, чем при консольном методе.

По аналогии с образцами нормального биметалла, образцы с антикоррозийными покрытиями, параметры которых подчиняются выше-приведённому соотношению, названы также нормальными покрытиями.

В практическом отношении возникновение внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях приводит к ухудшению их адгезионных и когезионных свойств и соответственно снижению работоспособности и долговечности, для чего необходимо будет глубоко изучать возникновение внутренних напряжений в покрытиях в зависимости от их состава и влияние технологических режимов их получения.

Существующие методы и установки не полной мере качественно определяют значение внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях. В связи с этим, возникает необходимость разработать более эффективный метод и установки для определения внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях, которые позволили бы более точно определить их значение.

Учитывая [2,3], что предложено принимать внутренние напряжения в качестве критерия для оценки долговечности полимерных и лакокрасочных покрытий, для разработки покрытий с высокой долговечностью можно ограничиваться изучением и определением внутренних напряжений в получаемых покрытиях.

Поэтому для разработки полимерных и лакокрасочных покрытий с высокими адгезионными и физико-механическими свойствами необходимо проведение глубоких исследований возникновения внутренних напряжений и изучение на создаваемом новом методе и установке, позволяющих разработать полимерных и лакокрасочных материалов на их основе с высоким работоспособности и долговечностью.

С целью изучения возникновения внутренних напряжений и разработки нового метода и установок ниже приведены результаты работ по разработке оригинальной установки для определения в полимерных лакокрасочных покрытиях по методу, усиления развиваемому концом консольное закрепленного образца.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Санжаровский А.Т. Физико-механические свойства полимерных покрытий. М., Изд-во «Химия», 1978, 184с., 1.146-148.
2. Остриков М. С., Духнина Т. П., Леви С. М. — Ж. науч. прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, т. 9, с. 259.
3. Schondorn H. – J.Polymer Sci., 1967. pt B, vol. 5. N 10, p.912.
4. Негматов С.С., Т.У. Улмасов, Н.С. Абед, О.Ш. Сабирова, Б.Т. Хаминов, Ф.М. Наврузов, С.Х. Абдулаев, К.Х. Масодиков, З.У. Махамаджонов, С.С. Жовлиев, Ф.Р. Иксанов. Консольный метод определения внутренних напряжений в полимерных, эмалевых и лакокрасочных покрытиях. // Международная научно-техническая конференция. / Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение 16-17 сентября 2021 года. – С. 126-128.
5. Тожибоев Б.М., Рахимов Ш.В., Улмасов Т.У., Негматов С.С., Рахимов С.Э., Олмасов А.А., Абед Н.С., Бозорбоев Ш.А., Масодиков К.Х., Сабирова О.Ш., Икромов Н.А. Состояние и анализ методов определения внутренних



напряжений полимерных и лакокрасочных покрытий, // Композиционные материалы, Ташкент, 2022, - №3, – С. 230-232.

6. Негматов С.С., Масодиков К.Х., Жалилов Ш.Н., Рахмонов Ш.В., Негматов К.С., Абед Н.С., Икромов Н.А., Тожибоев Б.М., Пирматов Р.Х., Султанов С.У., Собирова О.Ш., Рахимов Ш.Э., Улмасов А.А., Махамаджонов Х.А., Исследование тепловой водостойкости и прочностных свойств композиционных полимер-полимерных связующих // UNIVERSUM: технические науки» 2022,- №11, – С. 47-53.

