

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

зародыши кристаллизации при гомогенном зарождении не способны к росту, а в присутствии модификаторов размер критического зародыша практически может определяться размерами модифицирующих частиц.

Модифицирование оказалось наиболее эффективным и при получении слитков из конструкционных сталей с мелкозернистой структурой. Для стали 12ЧНЗМФА с помощью расчета на ЭВМ был выделен оптимальный комплекс элементов-модификаторов: Zr – Y – Sr – Nb. Выбор подобного сочетания элементов-модификаторов связан с влиянием на литую структуру окислов, нитридов, гидридов и сульфидов. Модифицирование позволило

получить слитки с размером зерен около 3 мкм. При температурах выше 1000°C полученный материал был сверхпластичным.

Выводы. Таким образом, анализ различных вариантов ТМО свидетельствует о перспективности их применения с целью получения УМЗ микроструктуры в сталях.

В заключении, следует отметить, что, используя особенности изменения микроструктуры при фазовых превращениях, холодной и горячей деформации, нагреве и охлаждении, можно добиться измельчения зерен большинства промышленных сплавов до $d < 10$ мкм, что обеспечивает структурные условия для перевода их в СП состояние.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строгонов Г.Б., Кайбышев О.А. и др. Сверхпластичность износостойкость в машиностроении. “Альтекс” Москва. 2002. стр. 320.
2. О.А. Кайбышев. Сверхпластичность промышленных сплавов. Москва “Металлургия”. 1984 г. 264 с.
3. Сверхмелкое зерно в металлах: Пер. с англ./Под ред. Л.К. Гордиенко. М.:Металлургия, 1973. 383 с.
4. Эскин Г. И. – Цветные металлы, 1981, № 11, с. 35-40.

И.Н Нугманов

- доцент кафедры «Технология машиностроения» О Ф ТГТУ им. И.Каримова

Х.Х Бобоев

- ст. пр. кафедры «Технология машиностроения» О Ф ТГТУ им. И.Каримова

З.С Тураева

- асс. кафедры «Технология машиностроения» О Ф ТГТУ им. И.Каримова

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИМЕРНЫХ И ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ

О.Ш. Сабилова, Т.У. Улмасов, С.С. Негматов, Е.С. Раджабов

В настоящее время предложено несколько методов определения внутренних напряжений.

Академиком Каргиным В.А. с сотрудниками разработан и осуществлен метод определения внутренних напряжений в покрытиях на твердых, легко деформирующихся подложках, обладающих малой жесткостью. В качестве таких подложек применялась бумага, которая в слегка натянутом состоянии закреплялась в зажимах прибора поляны, расстояние между которыми на протяжении всего опыта сохранялось постоянным. Нанесенное на подложку покрытие отверждалось, а возникающее при этом усилие измерялось по отклонению светового луча, проектировавшегося на шкалу прибора. По сечению образца и усилию, возникающему на зажимах прибора, определялись внутренние напряжения в покрытиях.

Для оценки величины внутренних напряжений, возникающих в покрытиях на металлической подложке [1], предложен метод определения внутренних напряжений по изменению радиуса кривизны образца. По этому

методу на одну сторону полоски фольги наносилось покрытие. В процессе отверждения в покрытии возникали внутренние напряжения, которые приводили к изгибу фольги. При помощи шаблонов измерялся радиус кривизны, по которому определялась величина внутренних напряжений.

В 1909 году СТОНИ, а затем с некоторыми изменениями Бреннер в 1960 году А.Т. Санжаровский и Г.И. Енифанов предложили определять внутренние напряжения в покрытиях на жестких, упругих подложках по изгибу консоли. При этом допускалось предположение, что образец находится в одноосном напряженном состоянии, изгибающий момент является постоянным по длине пленки не изменяется в процессе ее формирования, напряжения по толщине пленки распределяется равномерно; изгиб подложки происходит по дуге окружности, нейтральная ось проходит в подложке.

Предположим, что покрытие 1 нанесено на плоскую упругую подложку 2 (рис. а). При высыхании или полимеризации объем пленки, как правило, уменьшается, вследствие чего она

стремится сжаться. Сжатие мешает подложка, с которой покрытие связано адгезионными силами. В результате пленка оказывается растянутой, а подложка - сжатой.

Для нахождения уравнения, определяющего внутренние напряжения в пленке, рассмотрим схему сил, действующих в упругой системе покрытие- подложка. Упругая сила P , с которой растянутая пленка сжимает подложку, равна

$$P = \varepsilon E_2 \Delta F, \quad (1)$$

где ε - относительное удлинение растянутой пленки; ΔF - площадь ее поперечного сечения; E_2 - модуль нормальной упругости покрытия. Действие силы P на подложку можно заменить действием центрально приложенной силы P и изгибающего момента $M(x)$ (рис. б), равного

$$M(x) = \frac{P(t+\Delta t)}{2} \quad (2)$$

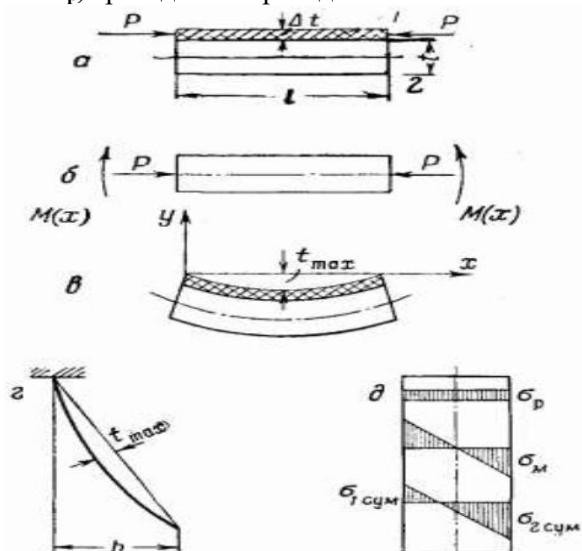
Здесь t - толщина подложки; Δt - толщина покрытия. Сила P вызывает в подложке напряжение

$$\sigma_p = \frac{P}{F}, \quad (3)$$

а изгибающий момент $M(x)$ - напряжения

$$\sigma_m = \frac{M(x)y}{I}, \quad (4)$$

где F и I - площадь и момент инерции поперечного сечения подложки; y - текущая координата, изменяющаяся от $+1/2t$ до $-1/2t$. Эпюры напряжений σ_p и σ_m и результирующего напряжения $\sigma_{сум}$, равного алгебраической сумме σ_m и σ_p , приведены на рис. д.



Расчетные схемы

Расчет внутренних напряжений в покрытии можно провести четырьмя различными методами: 1) по величине прогиба подложки f_{max} (рис. б); 2) по отклонению h свободного конца подложки при консольном ее закреплении (рис. г); 3) по величине напряжений в подложке $\sigma_{1сум}$,

определенной на свободной ее стороне (рис. д); 4) по величине напряжений $\sigma_{2сум}$ измеренной в подложке со стороны покрытия (рис. д). Рассмотрим эти методы.

1. Расчет внутренних напряжений по прогибу подложки.

Предположим, что в покрытии, нанесенном на абсолютно жесткую подложку, существуют растягивающие напряжения σ . При нанесении такого покрытия на гибкую упругую подложку последняя будет изгибаться, вследствие чего пленка будет укорачиваться и частично разгружаться (рис. в). Обозначим ту часть напряжений, которая остается в покрытии, через σ_1 , а снятую часть - через σ_2 . Очевидно, что

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2. \quad (5)$$

Упругая линия подложки при изгибе определяется уравнением

$$E_1 I \frac{d^2 y}{dx^2} + \dots = M(x), \quad (6)$$

где E_1 - модуль упругости подложки. Вследствие того, что величина внутренних напряжений по длине пластины остается постоянной, изгибающий момент, определяемый уравнением (2), будет также постоянным. Так как сила P равна

$$P = \sigma_1 \Delta F \quad (7)$$

(ΔF - площадь поперечного сечения покрытия; σ_1 - напряжение в нем), то на основании (2), (6) и (7) получим следующее уравнение для расчета напряжения σ_1 , оставшегося в покрытии:

$$\sigma_1 = \frac{d^2 y}{dx^2} \frac{2E_1 I}{\Delta F(t+\Delta t)} \quad (8)$$

Напряжение, снятое в результате прогиба подложки, равно

$$\sigma_2 = \varepsilon_2 E_2, \quad (9)$$

где E_2 - модуль упругости покрытия; ε_2 - уменьшение относительного удлинения пленки вследствие изгиба подложки, которое может быть определено из следующего соотношения:

$$\varepsilon_2 = \frac{d^2 y}{dx^2} \frac{t+\Delta t}{2} \quad (10)$$

Сочетая (5), (8), (9) и (10), получим;

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\sigma}{\frac{2E_1 I}{\Delta F(t+\Delta t)} + \frac{E_2(t+\Delta t)}{2}} \quad (11)$$

Интегрируя дважды это уравнение и решая его относительно σ при крайних условиях $x = 0, y = 0, x = l, y = 0$ для $x = 1/2l$ и $y = f_{max}$, получим основную формулу для расчета напряжений в покрытии по величине прогиба подложки f_{max} :

$$\sigma = \frac{4f_{max} E_1 t^3}{3l^2(t+\Delta t)\Delta t} + \frac{4f_{max} E_2(t+\Delta t)}{l^2} \quad (12)$$

2. Расчет внутренних напряжений по отклонению свободного конца консольно-

закрепленной подложки. При экспериментальном исследовании внутренних напряжений удобнее часто измерять не стрелу прогиба f_{\max} , а отклонение h свободного конца консольно-закрепленной подложки (рис. г). С достаточно высокой степенью точности это отклонения равно $4f_{\max}$. Подставляя в уравнение (12), вместо f_{\max} , $0,25 h$, получим формулу для расчета внутренних напряжений в покрытии по величине h :

$$\sigma = \frac{hE_1t^3}{3l^2(t+\Delta t)\Delta t} + \frac{hE_2(t+\Delta t)}{l^2}. \quad (13)$$

В уравнениях (12) и (13) первые члены выражают напряжения, оставшиеся в покрытии; вторые - напряжения, снятые при прогибе подложки. Отношение этих членов приблизительно равно $E_1t / 3E_2\Delta t$. Так как для полимерных покрытий модуль упругости E_2 примерно на два порядка меньше модуля упругости подложки (металла), то даже для пленок толщиной $t \geq 3\Delta t$ второй член составляет около 1 % от величины первого члена. Поэтому в подавляющем большинстве случаев вторым членом уравнений (12) и (13) можно пренебречь и вычисление σ производить по значительно более простым формулам:

$$\sigma = \frac{4f_{\max}E_1t^3}{3l^2(t+\Delta t)\Delta t}; \quad \sigma = \frac{hE_1t^3}{3l^2(t+\Delta t)\Delta t}.$$

Уравнения (12) и (13) могут быть использованы также для экспериментального определения модуля упругости покрытия. Для этого следует на две подложки, отличающиеся друг от друга только толщиной, нанести пленки одинаковой толщины. Применяя к подложкам с толщинами t_1 и t_2 уравнение (13),

$$\sigma t_1 = \frac{h_1E_1t_1^3}{3l^2(t_1+\Delta t)\Delta t} + \frac{h_1E_2(t_1+\Delta t)}{l^2};$$

$$\sigma t_2 = \frac{h_2E_1t_2^3}{3l^2(t_2+\Delta t)\Delta t} + \frac{h_2E_2(t_2+\Delta t)}{l^2}.$$

и решая их относительно E_2 получим

$$E_2 = \frac{\frac{h_2E_1t_2^3}{3(t_2+\Delta t)\Delta t} - \frac{h_1E_2(t_1+\Delta t)}{l^2}}{3l^2(t_1+\Delta t)\Delta t - h_2(t_2+\Delta t)} \quad (14)$$

3. Расчет внутренних напряжений в покрытии по величине внутренних напряжений в подложке, определенной на свободной ее стороне. Напряжения, вызываемые в подложке силою P и изгибающим моментом $M(x)$, выражаются уравнениями (3) и (4). Подставляя (2) в (4) и полагая $y = \frac{1}{2}t$, получим после соответствующего преобразования следующую формулу для σ_m :

$$\sigma_m = \frac{Pt(t+\Delta t)}{4I} = \frac{3P(t+\Delta t)}{Ft} \quad (15)$$

Поделив (15) на (3), получим

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{3(t+\Delta t)}{t} \quad (16)$$

Из рис. д видно, что на свободной стороне подложки результирующее напряжение $\sigma_{1\text{сум}}$ равно

$$\sigma_{1\text{сум}} = \sigma_m - \sigma_p \quad (17)$$

Сочетая (3), (16) и (17), будем иметь

$$\sigma_{1\text{сум}} = \sigma_p \left(\frac{2t+3\Delta t}{t} \right) \quad (18)$$

Подставляя (3) и (7) в (18) и решая относительно σ_1 , получим

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{1\text{сум}}t^2}{(2t+3\Delta t)\Delta t} \quad (19)$$

Напряжение $\sigma_{1\text{сум}}$, входящее в правую часть уравнения (19), может быть легко измерено при помощи проволочных датчиков, наклеенных на свободную сторону подложки [2]. Этот метод будет подробно рассмотрен в работе [3].

4. Расчет внутренних напряжений в покрытиях по величине напряжений в подложке, измеренной со стороны покрытия. Из рис. д видно, что напряжение $\sigma_{2\text{сум}}$ в подложке со стороны покрытия равно:

$$\sigma_{2\text{сум}} = \sigma_m + \sigma_p \quad (20)$$

Рассуждения, подобные тем, которые делались при выводе формулы (19), приводят к следующему уравнению для расчета напряжений в покрытии

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{2\text{сум}}t^2}{(4t+3\Delta t)\Delta t} \quad (21)$$

Напряжение $\sigma_{2\text{сум}}$ может быть определено оптическим методом [1].

Выводы. 1. Предложены методы расчета внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях: а-по величине прогиба подложки, б-по величине отклонения свободного конца консольно-закрепленной подложки, в-по величине напряжений в подложке на свободной от пленки стороне, г-по величине напряжений в подложке со стороны покрытия.

2. Разработанные методы могут быть применены для расчета внутренних напряжений в любых покрытиях, полученных при одноактном или послойном их нанесении на произвольные твердые подложки с последующим возникновением внутренних напряжений в нанесенном покрытии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. С. А. Шрейнер, И. И. Зубов, Докл. АН СССР, 124, 1102, 5, 1959.
2. Г. К. Потапов, А. Т. Санжаровский, Ж. физ. химии, 32, 1416, 1958.

5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов

Н.Д. Тураходжаев, С.Т. Маткаримов. Мис ишлаб чиқариш шлакларини руднотермик тиклаш усулининг термодинамикаси.....	198
Ф.Т. Худойбердиев, Д.Р. Махмудов, К.С. Каландаров, З.Р. Буриева, И.В. Пушкарева. Кинетическая модель набухания гидрогеля при изготовлении патронированной забойки для буровзрывных работ при проведении горных выработок.....	201
М. Каршиев, А.А. Саттаров, Э.Н. Юсупходжаева, И.Х. Аюбова. Расчет закономерности пластического деформирования пористой пластины из бронзы марки БрОФ-10-1 при чистом изгибе по цилиндрической поверхности.....	207
Ш.Ш. Ахмадалиев, Н.М. Ризаева. Расчёт скорости роста и размера рекристаллизационного зерна при моделировании рекристаллизации феррита.....	210
A.Kh. Alikulov, F.R. Norkhudjaev, Z.F. Chulliev. Requirements for alloy electrodes and contact machines.....	212
И.Н. Нугманов, Х.Х. Бобоев, З.С. Тураева. Методы получения ультрамелкозернистой микроструктуры в промышленных сплавах.....	214
О.Ш. Сабирова, Т.У. Улмасов, С.С. Негматов, Е.С. Раджабов. Методы расчета внутренних напряжений в полимерных и лакокрасочных покрытиях.....	217
Ю.А. Гелдиев, Х.Х. Тўрайев, И.А. Умбаров, А.Т. Джалилов. Полисиликат кислотанинг моноэтанолламин билан модификацияланиш тезлигига турли омилларнинг таъсирини ўрганиш.....	220
A.B. Kasimova, N.A. Isaxodjayeva, D.R. Sattorova. Sport kiyimlari uchun mo'ljallangan kompozitsion materiallarning sifat ko'rsatkichlarini baholash.....	223

6. Вести из лаборатории

Ш.Н. Жалилов, К.С. Негматова, Д.Н. Ходжаева, Н.С. Абед, Д.К. Холмуродова, М.Б. Бойдадаев, А.М. Мадрахимов. Изучение и анализ существующих полимерных связующих, применяемых в производстве древесно-стружечных и древесно-пластиковых плитных материалов, и их недостатки.....	226
Ё.С. Раджабов, М.Б. Мухитдинов, Р.Х. Пирматов, Т.У. Улмасов, Т.О. Камолов, Ш.А. Аликобилов, Р.Х. Солиев. Современное состояние производства железобетонных конструкция и пути повышения его эффективности путем применения антиадгезионных смазочных и полимерных материалов рабочей поверхности формирующих оснасти....	229
Ш.Н. Жалилов. Состояние получения и исследования структуры мочевиноформальдегидной смолы.....	232
И.С. Умаралиев, С.Р. Худояров, Ш.А. Мухаметджанова, О.М. Ёкубов, А.А. Абдухаликов, Ж.Ш. Эргашев. Современное состояние техногенные отходы металлургической отрасли Узбекистана.....	235
Ё.С. Раджабов. Состояние железобетонных формирующих оснасток в производстве строительных конструкций и пути повышения их эффективности.....	237
А.Н. Шодиев, А.А. Саидахмедов. О возможности извлечения ценных компонентов из отходов и сбросных растворов молибденового производства.....	238
S.A. Muxtarova. Maxsus qurilmalar uchun ilg'or optik faol materiallar.....	241
Ф.У. Ташалиев, А.С. Хасанов, К.Т. Жумабоев. Электрохлоринация медного клинкера как способ его переработки..	244
Юбилей. Шарипов Хасан Турабович (к 75-летию со дня рождения и 50-летию научной и научно-педагогической деятельности).....	247