

УДК 621. 539. 4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ НА РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ И ДЕТАЛЯХ МАШИН

*д-р техн. наук, проф. Б.А. ЛЯШЕНКО, В.С. АНТОНЮК, Е.Б. СОРОКА
(Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев),*

Л.А. ЛОПАТА

(Кировоградский Национальный технический университет Украины, г. Кировоград)

Предложена методика расчета параметров покрытия дискретно-мозаичной структуры с учетом внешней силовой и температурной нагрузки, а также остаточных напряжений. Данный подход позволяет определить размеры дискретного участка покрытия на стадии проектирования режущего инструмента.

Введение. Важным фактором при решении задачи эффективного использования износостойких покрытий является соотношение между прочностью сцепления покрытия с основой и когезионной прочностью покрытия. Высокая когезионная и адгезионная стойкость защитного покрытия дискретной структуры достигается путем ограничения нормальных напряжений в покрытии и касательных в плоскости адгезионного контакта с основой за счет изменения размеров и формы отдельного дискретного участка. Эти параметры выбираются исходя из физико-механических свойств компонентов покрытия и температурно-силовых режимов его нагружения. Такой подход позволяет обеспечить необходимые требования к физико-механическим свойствам защитного поверхностного слоя, реализовать оптимальные условия трения, а также минимизировать процесс изнашивания [1].

Цель работы. Определение геометрических параметров дискретной структуры из условий минимизации напряженно-деформированного состояния с учетом температурных и остаточных напряжений.

Методы исследований. Для определения геометрических размеров участка покрытия дискретной структуры использован подход, основанный на расчете критического шага трещины при когезионном разрушении сплошного покрытия под воздействием эксплуатационных, остаточных и термических напряжений [2].

Таким образом, критический шаг трещины в сплошном покрытии определяется соотношением:

$$C_n = -\frac{1}{k} \ln \left(0,1 + \frac{(\sigma_n^T + \sigma_n^{ocm})}{\varepsilon_{кр} E_n} \cdot \left(1 + \frac{E_n h_n}{E_o H_o} \right) \right), \quad (1)$$

где k – коэффициент; σ_n^T – напряжения в покрытии, которые возникают под действием температурного градиента в процессе эксплуатации; σ_n^{ocm} – остаточные напряжения в покрытии; $\varepsilon_{кр}$ – критическая деформация основы, превышение которой приводит к когезионному растрескиванию; E_o , E_n , G_o , G_n – модули упругости первого и второго рода материалов основы и покрытия соответственно; $2H_o$, h_n – толщины основы и покрытия.

Коэффициент k зависит от упругих модулей основы и покрытия и определяется следующим образом [3]:

$$k^2 = 2 \frac{G_o G_n}{G_o h_n + G_n H_o} \left(\frac{1}{E_n h_n} + \frac{1}{E_o H_o} \right).$$

Тогда максимальный приведенный размер участка покрытия дискретной структуры:

$$D_{max} \leq C_n.$$

Широкое применение в практике нанесения защитных покрытий на инструментальные материалы нашел метод электроискрового легирования, который позволяет повысить износостойкость и надежность режущего инструмента и деталей машин. Этот метод дает возможность получать покрытия дискретной структуры с заданными геометрическими параметрами.

Для определения геометрических размеров дискретного участка покрытия из ВК8, нанесенного методом электроискрового легирования на режущий инструмент из порошковой высоколегированной инструментальной стали Р2М10ФК8 ($\sigma_{тн} = 2200 \dots 3000$ МПа), был произведен расчет на основании формулы (1). Остаточные напряжения в покрытии σ_n^{ocm} определяли по радиусу кривизны специально изготовленного тонкого плоского образца [4] из стали Р2М10ФК8 после нанесения покрытия.

Используя метод расчета тонких пластин на изгиб, по значению радиуса кривизны пластины определяли остаточные напряжения:

$$\sigma_n^{ост} = \frac{4E_o H_o^3}{6(1-\mu^2)(H_o + h_n) R h_n}, \tag{2}$$

где μ – коэффициент Пуассона материала основы; R – радиус кривизны образца.

Полученные в результате расчета остаточные напряжения растяжения изменялись в диапазоне от 320 до 500 МПа (рис. 1).

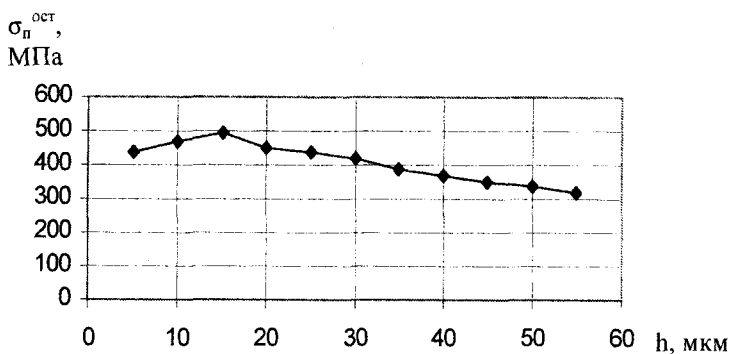


Рис. 1. Зависимость остаточных напряжений ($\sigma_n^{ост}$) от толщины (h) покрытия ВК8 на стали Р2М10ФК8

Температурные напряжения - результат нагрева рабочей поверхности инструмента в процессе резания - изменялись в диапазоне 180...220 МПа [5].

Результаты и их обсуждение. С учетом значений остаточных и температурных напряжений для различных величин критической деформации основы $E_{кр}$ получены зависимости размера дискретного участка от толщины покрытия (рис. 2, 3).

Анализ результатов показывает, что повышение когезионной прочности покрытия позволяет создавать дискретные участки большей толщины, что в свою очередь обеспечивает повышение износостойкости покрытия.

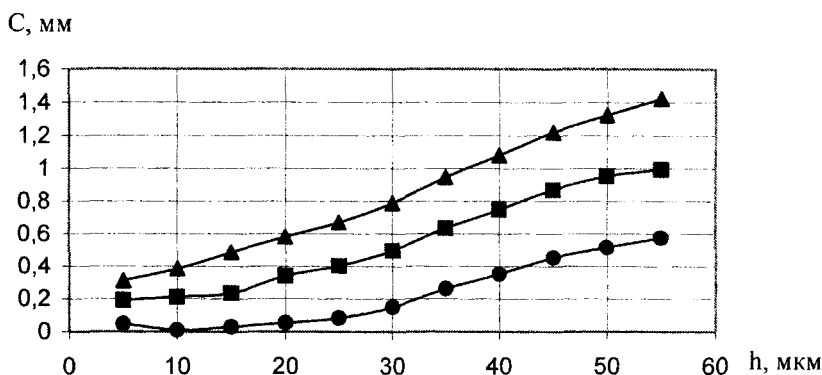


Рис. 2. Зависимость размера дискретного участка C от толщины покрытия h при различных значениях $\varepsilon_{кр}$ (0,11 % – ●; 0,13 % – ■; 0,15 % – ▲)

Анализируя выражение (1), можно получить зависимости критического размера дискретного участка от соотношения суммы остаточных и температурных напряжений и когезионной прочности покрытия (рис. 4). Точки пересечения кривых с осью ординат соответствуют случаю отсутствия остаточных напряжений, т.е. разрушение покрытия происходит под воздействием механического нагружения. Пересечение кривых с осью абсцисс отвечает ситуации, когда покрытие растрескивается под действием остаточных напряжений еще до момента приложения эксплуатационной нагрузки.

Таким образом, на основании полученных зависимостей для выбранного материала покрытия можно подобрать такое соотношение толщины и размера дискретного участка, которое позволит исключить когезионное растрескивание покрытия для заданных условий эксплуатации режущего инструмента.

При этом увеличение толщины дискретного участка покрытия может быть достигнуто путем уменьшения остаточных напряжений или повышением когезионной прочности покрытия.

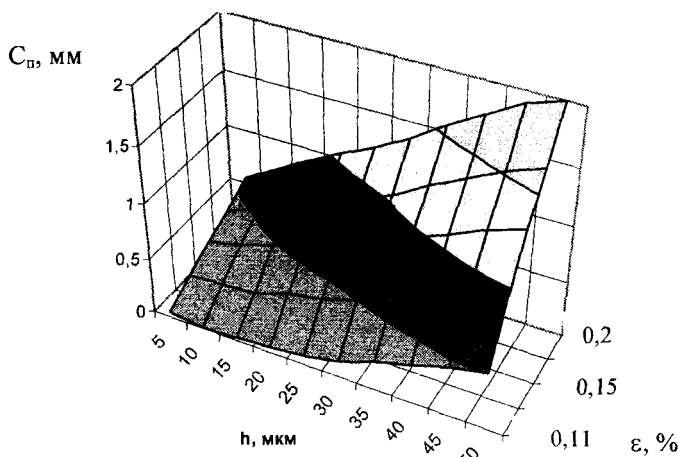


Рис. 3. Зависимость размера дискретного участка C_{II} от толщины покрытия h , и критической деформации основы $\epsilon_{кр}$

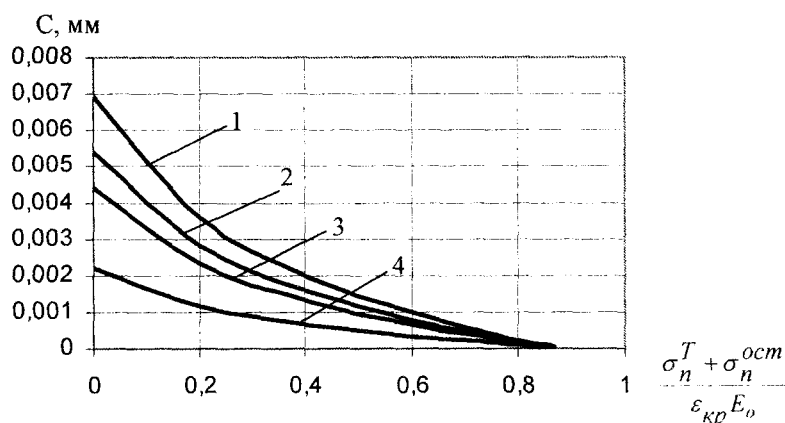


Рис. 4. Расчетная зависимость критического размера дискретного участка покрытия C от соотношения суммы остаточных и температурных напряжений $(\sigma_n^T + \sigma_n^{ocm})$ и когезионной прочности покрытия $(\epsilon_{кр} E_o)$ при его толщине $h = 5$ мкм (1); 10 мкм (2); 30 мкм (3) и 50 мкм (4)

Выводы. Использование современных методов инженерии поверхности позволяет заменить традиционное (сплошное) покрытие на покрытие дискретно-мозаичной структуры. Применение упрочняющих покрытий дискретной структуры на металлорежущем инструменте и деталях машин ограничивает рост напряжений и процесс трещинообразования, что многократно повышает его прочность и долговечность, полностью исключает когезионное растрескивание и адгезионное отслоение покрытия. Параметры такого покрытия устанавливают исходя из условия предотвращения его когезионного разрушения при силовом и температурном воздействии. Таким образом, вид и размеры дискретных участков покрытия могут быть заложены на стадии проектирования элементов с покрытиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. Упрочняющие покрытия дискретной структуры // Технологические системы. - 2001. - № 4. - С. 17 - 25.
2. Антонюк В.С. Формування покриття підвищеної зносостійкості на робочих поверхнях реального інструменту // Вісник Національного технічного університету України. - 2003. - Вип. 44. - С. 110 - 112.
3. Уманский Э.С., Ляшенко Б.А. Условия адгезионной и когезионной равнопрочности жаростойких покрытий // Косм. исслед. на Украине. - 1975. - Вып. 6. - С. 58 - 64.
4. О снижении остаточных напряжений в вакуум-плазменных покрытиях / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский, Е.Б. Сорока, Н.В. Липинская // Пробл. прочности. - 2001. - № 4. - С. 62 - 67.
5. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: Справочник. Харьков: Антиква, 2003.-412 с.