

УДК 621.793.182, 621.893

**УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛЕЙ
МАШИН ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ДИСКРЕТНОГО ТОНКОПЛЕНОЧНОГО
КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ**

Максим Алексеевич Данилов

*Студент 1 курса магистратуры**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: А.И. Беликов,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Ключевые слова: тонкие пленки (thin films), дискретное покрытие (discrete coating), микрокарманы (dimples).

Аннотация: В данной работе рассмотрены различные виды дискретных покрытий – упрочняющее и износостойкое. Износостойкие дискретные покрытия называют микрокарманами или покрытиями с двойной шероховатостью. В работе рассмотрены различные эффекты от этих покрытий перспективы применения таких покрытий на режущем инструменте и деталях машин, проведен анализ по выявлению оптимальных сплошностей каждого покрытия, а также предложено тип однослойного композитное покрытие, состоящего из упрочняющей и антифрикционной составляющих.

Проблема повышения эффективности обработки деталей резанием, а также повышения износостойкости и улучшения фрикционных характеристик пар трения ставит задачу разработки новых покрытий с уникальными свойствами.

Ранее уже была доказана эффективность применения дискретных покрытий для увеличения срока эксплуатации режущего инструмента[1]. Нанесение на рабочую часть инструмента дискретного покрытия через сетку определенной сплошности – 58-62% позволяет добиться увеличения срока эксплуатации инструмента более чем в 2,5 раза. Полученный диапазон сплошности обусловлен тем, что при низкой сплошности в районе 20-40 % не исключается контакт обрабатываемого материала с поверхностью основы инструмента в промежутках покрытия, а при сплошности более 80% увеличивается площадь контакта и дискретное покрытие приближается к сплошному со всеми его недостатками в виде трещин, вспучивания и адгезионного отслоения.

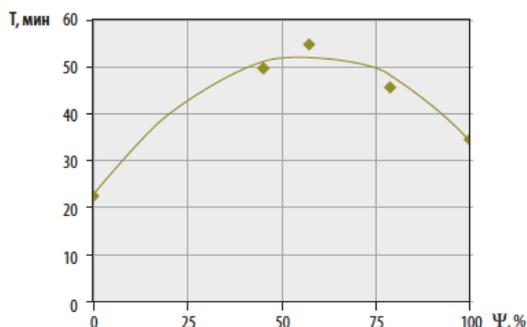


Рисунок 1 – Зависимость стойкости режущего инструмента от сплошности покрытия[1]

Также был рассчитан коэффициент адгезионной активности для дискретов различных размеров. Расчет показал, что худшая адгезия наблюдается у дискретов с размерами до 200 мкм, а после 200 мкм коэффициент адгезионной активности меняется незначительно.

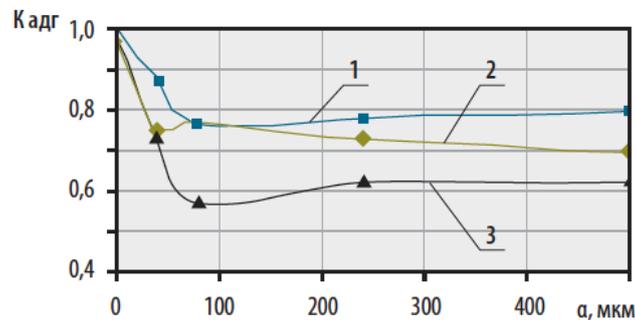


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента адгезионной активности от размера дискретного участка
1 – TiN; 2 – Ti(C,N); 3 – TiN+Ti(C,N)[1]

Таким образом, создание на поверхности режущего инструмента дискретного покрытия приводит к повышению стойкости и увеличению срока службы режущего инструмента, а также к уменьшению сил резания за счет свойств наносимого покрытия.

Если же говорить о повышении срока службы различных деталей машин, например, пар трения, то в таком случае более целесообразно не увеличивать твердость поверхностей, а понизить коэффициент трения между ними. Для этого на поверхности одной из деталей пары трения можно сформировать смазочные микрокарманы, заполненные твердосмазочным веществом, например дисульфидом молибдена MoS_2 . Такие поверхности с микрокарманами называют также поверхностями с двойной шероховатостью.

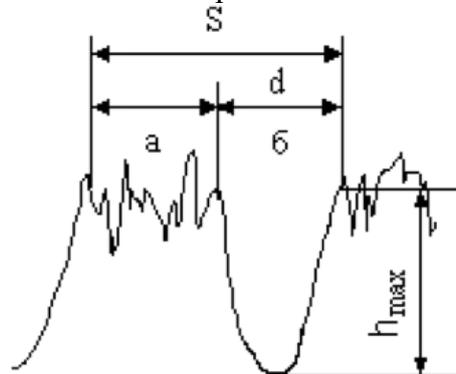


Рисунок 3 – Поверхность с двойной шероховатостью
а – исходная шероховатость; б – смазочный микрокарман[2]

Так же как и с формированием дискретов покрытия, существуют различные методы формирования смазочных микрокарманов.

Теоритическим методом была рассчитана зависимость оптимального шага (отношение S к d) смазочных микрокарманов в зависимости от шероховатости поверхности, которое также было проверено экспериментально.

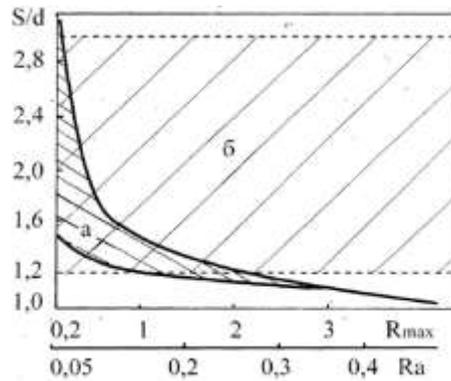


Рисунок 4 – Зависимость оптимального шага смазочных микрокарманов от шероховатости поверхности[2] а – расчетные данные; б – экспериментальные данные

Стоит отметить, что сплошность дискретных покрытий определяется как отношение площади дискретов к общей площади образца, в то время как у смазочных микрокарманов есть лишь понятие об оптимальном шаге. Для пересчета оптимального шага в оптимальную сплошность микрокармана воспользуемся следующей формулой:

$$\psi = \frac{d}{S + d}$$

Таким образом, для поверхности с оптимальным соотношением S/d=2,0 оптимальная сплошность смазочных микрокарманов будет равняться 33,3%. По графику на рисунке 4 можно сделать вывод, что оптимальная сплошность смазочных микрокарманов варьируется от 25% для поверхностей с низкой шероховатостью до 50% для поверхностей с высокой.

Одним из перспективных методов структурирования поверхности является метод лазерного структурирования - LST. С помощью него можно формировать на поверхности детали пары трения ямочки, которые в дальнейшем будут заполнены твердосмазочным веществом. Jianliang Li[3] провел эксперимент, в ходе которого на никелевом композите (Ni-Cr-W-Fe-C) были сформированы ямочки лазерным методом одного диаметра 150 мкм, но различной сплошности.

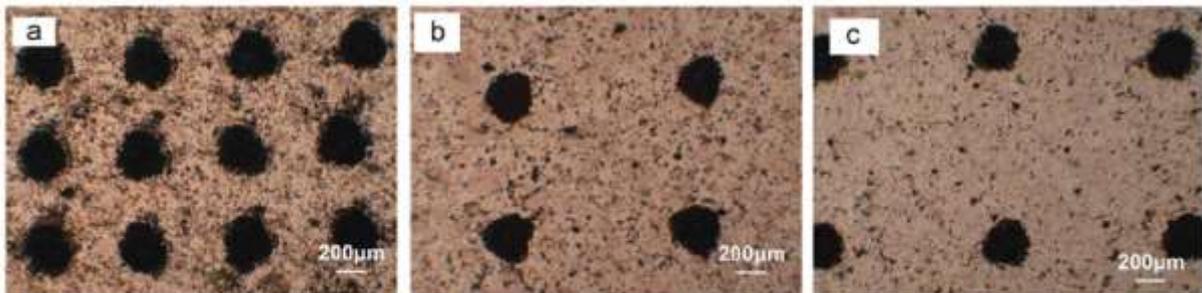


Рисунок 5 – Ямочки, сформированные LST методом[3] а – высокая; б – средняя; в – низкая

Также в исследованиях [3] приведена таблица, описывающая геометрию расположения ямочек. В таблице показан диаметр ямочек, расстояние между ними, а также сплошность ямочек. Профиль ямочки показан на рисунке 7.

Parameter	Diameter (μm)	Distance in circumferential (μm)	Distance in radial (μm)	Dimple area density (%)
High density	150	400	400	11.2
Moderate density	150	500	500	7.1
Low density	150	1000	1000	1.8

Рисунок 6 – Геометрические характеристики ямочек[3]

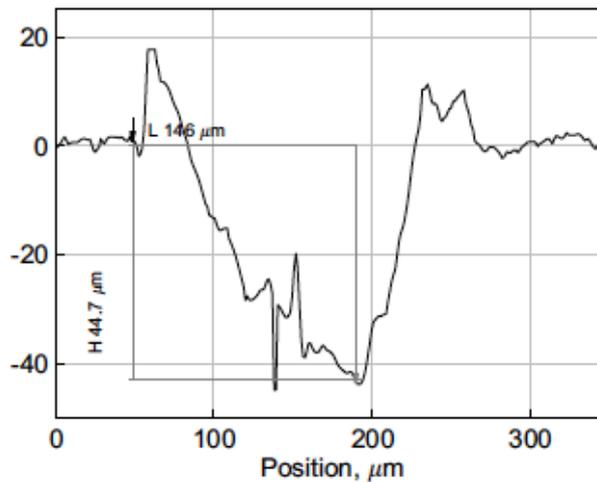


Рисунок 7 – Профиль ямки[3]

Эксперимент по сравнению коэффициента трения у образцов без ямочек и с ямочками различной сплошности показал, что и все образцы обладают низким коэффициентом трения до температуры около 400° С, однако у образцов с ямками он оказался ниже. Также все образцы были протестированы на износостойкость. Наиболее износостойким образцом оказался образец в со сплошностью 7,1%, который также показал наименьший коэффициент трения – 0,2 при комнатной температуре.

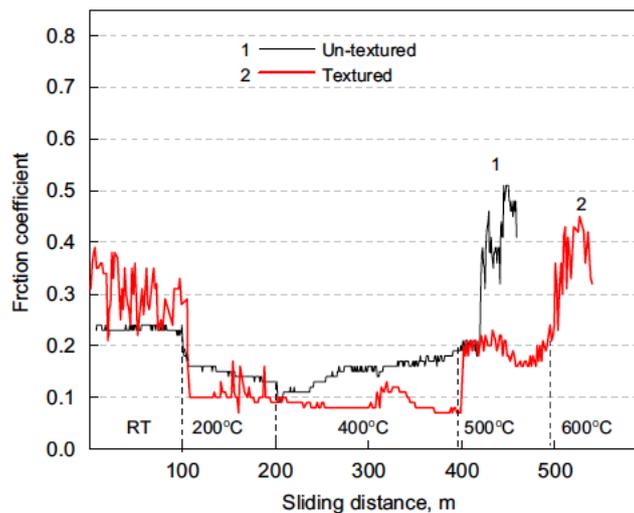


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента трения от пройденной дистанции для образца сплошностью 7,1%[3]

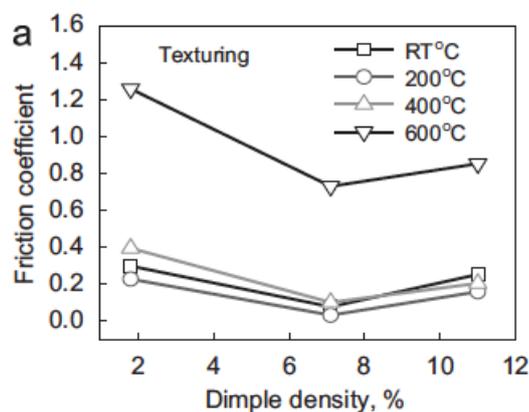


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента трения от сплошности и температуры[3]

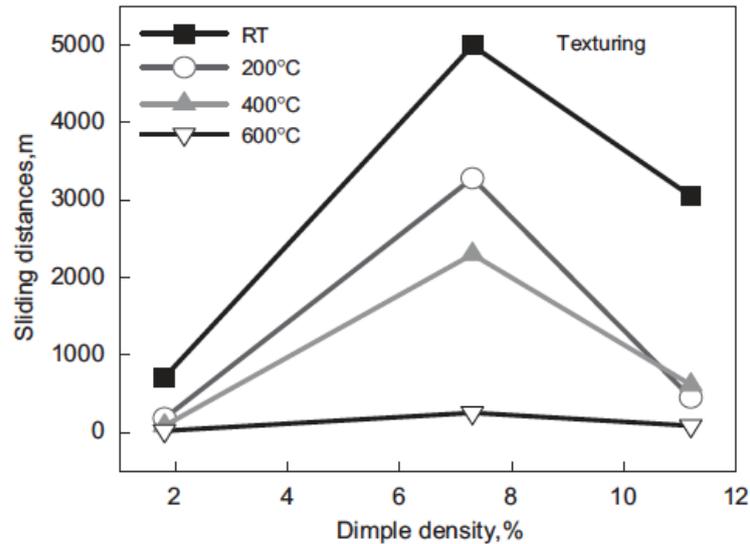


Рисунок 10 – Зависимость пройденного расстояния от сплошности и температуры

Для экспериментальной проверки оптимальной сплошности дискретного упрочняющего покрытия был проведен эксперимент, в ходе которого было сформировано дискретное покрытие TiAlN методом лазерной обработки на подложке из стали 12X18H10T. Дискретные покрытия были сформированы с различной сплошностью – 45%, 60% и 65%, а также с различным размером 0.2 мм, 0.4 мм, 0.8 мм и 1 мм.

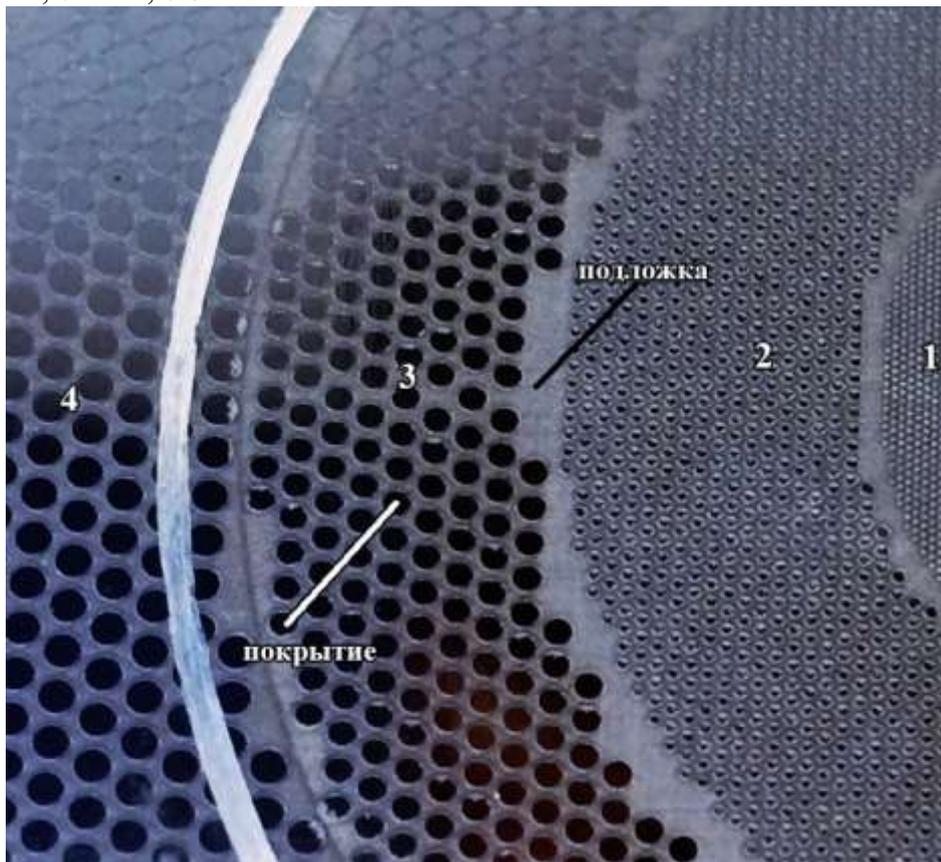


Рисунок 11 – Дискретное покрытие TiAlN 1 – 0.2 мм; 2 – 0.4 мм; 3 – 0.8 мм; 4 – 1 мм

Все покрытия были протестированы на износостойкость на трибометрическом стенде, было определено время полного износа каждого покрытия. Результаты эксперимента

представлены в таблице 1. Также было измерено время полного износа сплошного покрытия TiAlN.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Сплошность, %	Диаметр дискретов, мм	Время износа, мин
45	0.2	15.8
	0.4	35.9
	0.8	16.3
	1	12.9
60	0.2	3.5
	0.4	110
	0.8	25.5
	1	31.2
65	0.2	5
	0.4	27.5
	0.8	22.3
	1	18.4
100	-----	12.1

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальная сплошность дискретного упрочняющего покрытия составила 60%, что сходится с результатами экспериментов, проведенных ранее.
2. Дискретное покрытие может в несколько раз превосходить по изностойким свойствам сплошное.
3. Оптимальный диаметр дискретов составил 0.4 мм.

Есть предположение, что при объединении эффектов от дискретного упрочняющего покрытия и смазочных микрокарманов можно добиться значительного увеличения срока службы режущего или деталей пар трения по сравнению с использованием этих эффектов по отдельности. Из анализа литературы и экспериментов можно сделать вывод об оптимальной сплошности упрочняющего слоя и оптимальной сплошности смазочных микрокарманов, а также об оптимальном размере дискретов упрочняющего покрытия.

Оптимальная сплошность упрочняющего покрытия составляет 60%, в то время как оптимальная сплошность микрокарманов варьируется от 25% до 50% в зависимости от шероховатости покрытия. Отсюда можно сделать вывод, что при оптимальной сплошности упрочняющего слоя возможно также создать смазочные микрокарманы сплошностью 40%, что также попадает в интервал оптимальных значений. Все это дает возможность создания дискретного композитного покрытия, структура которого показана на рисунке 12.

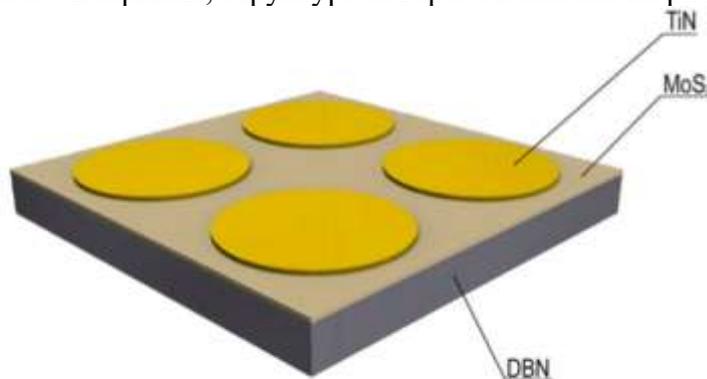


Рисунок 12 – Структура покрытия

Выводы:

1. Оптимальная сплошность дискретного упрочняющего покрытия составляет 60%
2. Оптимальный размер дискретов, полученных методом лазерной обработки равен 400 мкм
3. Оптимальная сплошность смазочных микрокарманов варьируется от 25% до 50%, это дает возможность создать однослойное дискретное композитное покрытие

Литература

1. *Сорока Е.Б.* PVD-покрытия дискретного типа на режущем инструменте //Металлообработка 2/2010. – М., 2010 - С.26-32.
2. *Исупов М.Г.* Разработка и исследование технологии струйно-абразивной финишной обработки . – Ижевск., 2006
3. *Jiangliang Li* Effects of surface laser texture on friction properties of nickel-based composite. Nanjing University of Science and Technology , 2010