



УДК 669.699

*Соловых Е.К.*

Кировоградский Национальный технический университет. Украина, г. Кировоград.

#### УПРОЧНЯЮЩИЕ ДИСКРЕТНЫЕ ПОКРЫТИЯ И ЗАМЕНА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ

##### *Анотація*

*В умовах безперервного подорожчання легуючих елементів застосування зносостійких покриттів дискретної структури може забезпечити Україні імпортозамінні технологічні рішення. Дискретні покриття в однакових умовах експлуатації забезпечують стабільну та рівну зносостійкість сталей 38Х2МЮА,*

*40Х та сталь 45. Це дозволяє замінити леговані сталі на конструкційні вітчизняного виробництва. Наведені результати дискретних покриттів на цих сталях при вакуум-плазмовому нанесенні, електроіскровому легуванні, іонному азотуванні та лазерній обробці. Зносостійкість дискретних покриттів в 3,5 раза вища, ніж тих же покриттів традиційної суцільної структури.*

**Abstract**

*In the conditions of steady rising of cost of alloying elements the use of wear-resistant discontinuous coatings can ensure for Ukraine import-replacing technological solutions.*

*Discontinuous coatings in the same operating conditions ensure stable and equal wear-resistance for steels. This allows to replace alloy-steels by structural steels of home manufacture.*

*The results of discontinuous coatings under the conditions of PVD, electrospark alloying, ion nitriding and laser structure treatment are presented.*

*Wear-resistance of discontinuous coatings is more than 3,5 times above, as compared with traditional continuous coatings.*

**Введение.** Ситуация на рынке металлов характеризуется неуклонным ростом цен. Только в последнее время цена никеля от 15 евро за 1 кг возросла до 40. Отмечается сокращенное производство в Украине высококачественных нержавеющей сталей из-за отсутствия отечественного никеля и хрома [1]. Подорожание импортного сырья приводит к более высоким темпам роста цен на легированные стали в сравнении с конструкционными сталями. Украина производит конструкционные стали, титановые и алюминиевые сплавы. Радикальным путем альтернативного поиска импортозамещающих технологических решений становится применение упрочняющих защитных покрытий. Это решение позволяет применять в производстве менее дефицитные и более дешевые отечественные материалы.

Новые возможности в поверхностном упрочнении открывает принцип нанесения покрытий дискретной структуры повышенной термомеханической стойкости [2, 3]. Износостойкость дискретных покрытий в 2...5 раз выше износостойкости традиционных сплошных покрытий идентичного материала и равной толщины. В сравнении с традиционной цементацией и закалкой износостойкость дискретных покрытий в 3...7 раз выше.

Украина испытывает дефицит меди и ее сплавов. Показана целесообразность и эффективность замены бронзы в производство опор скольжения на алюминиевый сплав с дискретными покрытиями [4]. При упрочнении поверхностей трения целесообразно использовать покрытия дискретной структуры, полученные методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Электродный материал системы Fe-Ni-Mn-Cu-Al-Si позволяет наносить покрытие толщиной до 1 мм. Применение поверхностного пластического деформирования (ППД) в качестве финишной операции позволяет достичь необходимый размер и чистоту поверхности. При замене бронзы на алюминиевый сплав с дис-

кретными покрытиями повышается износостойкость в 1,5...1,8 раза при снижении в 2,5 раза веса детали.

**Постановка задачи:** установить возможность замены легированных сталей на простые конструкционные за счет высокой износостойкости дискретных покрытий.

**Методика исследований.** Для ряда материалов основы и технологий нанесения покрытий определены сравнительная износостойкость в условиях трения скольжения при параметрах: удельная нагрузка  $P=12$  МПа, скорость скольжения  $V=1,2$  м/с, путь скольжения  $L=103$  м. Испытывали при фиксированных температурах 20°C и 200°C, а также в условиях сухого трения и со смазкой типа МС-22. Использовали четыре альтернативные технологии:

- вакуум-плазменную (КИБ);
- ионное азотирование;
- лазерную термообработку (ЛТО);
- электроискровое легирование (ЭИЛ).

Испытывали на износостойкость традиционные сплошные покрытия и покрытия дискретной структуры. Для дискретной структуры принята сплошность покрытия  $\psi=60\%$ . Геометрические параметры дискретной структуры выбраны из условий минимизации напряженно-деформированного состояния [5, 6]. Технологическое обеспечение дискретной структуры вакуум-плазменных покрытий осуществлялось сеточными экранами [7-9]. Для ионного азотирования дискретную структуру обеспечило применение активных экраннирующих паст [10]. Лазерная обработка проведена с помощью серийной установки Квант-18М, ЭИЛ — при помощи серийной установки Элитрон-22 при легировании твердым сплавом типа ВК8. Для ЛТО плотность энергии в пятне 0,6...3,0 Дж/мм<sup>2</sup>, диаметр пятна 1,5 мм. Микротвердость поверхностного слоя 5,6...12 ГПа при исходной микротвердости 3 ГПа. Величина несплошности  $\psi$  для ЛТО и ЭИЛ идентична коэффициенту повышения производительности обработки, так как отпадает необходимость обрабатывать всю рабочую поверхность за счет нескольких проходов лазерного луча или электрода ЭИЛ. Повышение производительности обработки — существенное технологическое преимущество покрытий дискретной структуры.

В качестве материала основы, подлежащего замене, использовали сталь 38Х2МЮА. Как базовый вариант поверхностного упрочнения принята традиционная цементация и закалка. Длительность цементации — 48 часов. В качестве заместелей стали 38Х2МЮА приняты сталь 40Х и сталь 45.

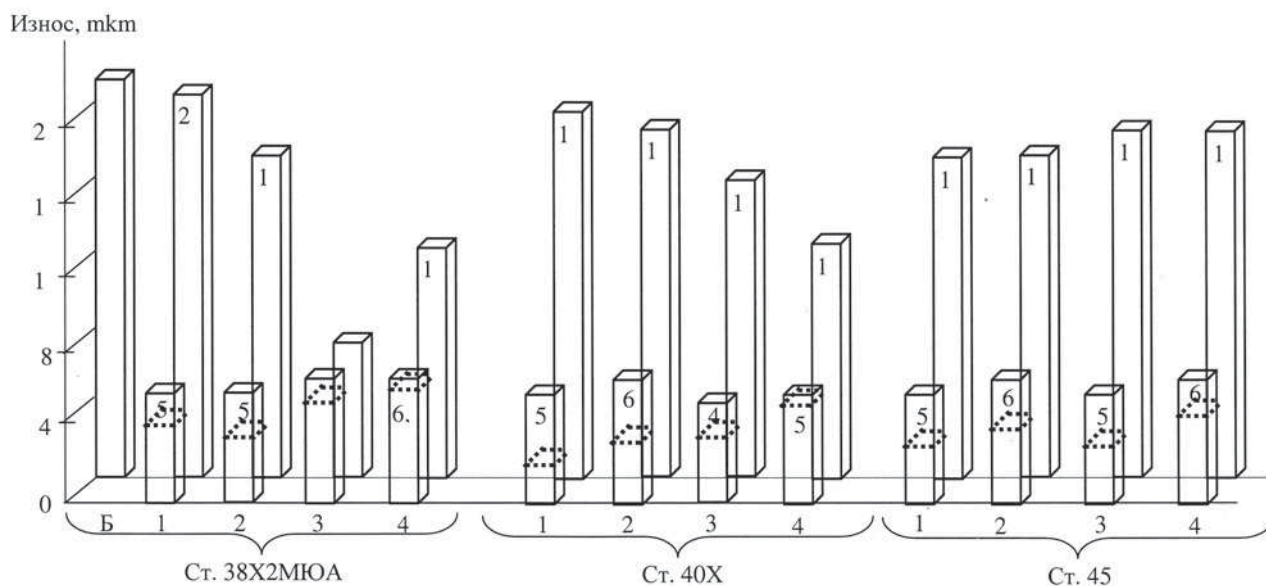
Параметром сравнения служил линейный износ, измеряемый с помощью миниметра модели ИКВ/ИК-6.

**Результаты исследований.** На рис. 1 приведены сравнительные результаты по износостойкости при 20°C со смазкой МС-22 и без смазки. Идентичные результаты получены и при 200°C. Анализ результатов показывает, что при использовании дискретных покрытий износостойкость не зависит от материала основы. Для стали 38Х2МЮА износостойкость сплошных покрытий зависит от технологии нанесения УЗП. Для стали 40Х также наблюдается зависимость износостойкости от технологий. А для стали 45 эта зависимость отсутствует. Износостойкость дискретных покрытий одного порядка для всех рассмотренных технологий обеспечивает стабильность и вос-

производительность свойств. А это — еще одно преимущество дискретных покрытий при замене высоколегированных сталей на простые конструкционные стали.

В качестве примера экономической целесообразности замены материалов при использовании дискретных покрытий проведен расчет по наиболее массовым деталям автотракторной отрасли. Результаты приведены в табл. 1.

Для деталей, приведенных в табл. 1, выбор легированных сталей обоснован требованиями износостойкости и поверхностной прочности. При замене этих сталей на конструкционные соблюдается требование необходимой объемной прочности.



**Рис. 1.** Износостойкость дискретных покрытий (первый ряд) и сплошных покрытий (второй ряд):  
 Б — базовый вариант; 1 — КИБ; 2 — ИА; 3 — ЛТО; 4 — ЭИЛ;  
 — — без смазки;  
 ..... — со смазкой.

Таблица 1

№ п/п	Деталь	Марка стали		Экономия легирующих элементов, %			
		серийная	новая	Cr	Ni	Mo	Mn
1	Шестерни	30ХГТ	58	1,0	-	-	1,0
2	Полуоси	40ХГРТ	47ГТ	1,0	-	-	1,0
3	Крестовины	20ХГНРТ	58	1,0	1,0	-	-
4	Шестерни конические	20ХНМА	58	1,0	1,0	0,25	-
5	Полуоси	30ХГСА	45	1,0	-	-	1,0
6	Поршневые пальцы	12ХН9А	58	0,8	3,0	-	-
7	Шестерни	18ХГТ	58	1,15	-	-	-
8	Полуоси	40ХНМА	47ГТ	0,8	1,45	0,2	-

**Выводы.** В условиях непрерывного подорожания легирующих элементов применение дискретных покрытий может обеспечить Украине импортозамещающие технологические решения путем перехода на конструкционные стали отечественного производства.

### Литература

1. *Петрунько А.Н.* О проблемах развития производства и применения титана в Украине // Проблемы СЭМ – 1996, № 3. – С. 49–54.
2. *Ляшенко Б.А., Кузема Ю.А., Дигам М.С., Цыгулев О.В.* Упрочнение поверхности металлов покрытиями дискретной структуры с повышенной адгезионной и когезионной стойкостью. – Киев, 1984. – Препр. ИПП АН УССР. – 57 с.
3. *Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И.* Упрочняющие покрытия дискретной структуры // Технологические системы. – 2001. – № 4 (10). – С. 17–25.
4. *Ляшенко Б.А., Мирненко В.И., Соловых Е.К. и др.* О замене бронзы в опорах скольжения на алюминиевые сплавы с дискретными покрытиями // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 48. – С. 149–159.
5. *Антонюк В.С., Сорока О.Б., Солових Є.К. та ін.* Аналітичні та числові методи проектування

дискретних покриттів на інструментальних матеріалах // Зб. „Математичні проблеми механіки неоднорідних структур. – Львів, 2006. – Т.1. – С.121–123.

6. *Сорока Е.Б., Антонюк В.С., Соловых Е.К. и др.* Напряженно-деформированное состояние инструментальных материалов с вакуум-плазменными покрытиями // Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 8 междунауч.-техн. конф., 27–29 мая, 2008, Ялта–Киев: АТМУ, 2008. – С. 223–225.

7. *Соловых Е.К., Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. и др.* Технологическое обеспечение вакуум-плазменных покрытий дискретной структуры // Технологические системы. – 2007, № 2. – С. 22–27.

8. *Пат. 26555* Україна, С23С 14/32, С23С 14/04. Спосіб нанесення зносостійких несучільних покриттів на неметалеві матеріали // Ляшенко Б.А., Солових Є.К., Антонюк В.С. та ін. Опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.

9. *Пат. 26322* Україна, С23С 14/00, С23С 14/24, С23С 14/26. Установка для вакуум-плазмового напилення // Солових Є.К., Ляшенко Б.А., Антонюк В.С. та ін. Опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.

10. *Соловых Е.К., Ляшенко Б.А., Каплун В.Г. и др.* Технологическое обеспечение дискретной структуры поверхности при азотировании // Технологические системы. – 2009, № 2. – С. 55–59.