

УДК 621.793.182, 621.893

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК

Барсуков Никита Михайлович⁽¹⁾, Петров Василий Владимирович⁽²⁾,

*Студент 4 курса⁽¹⁾, ассистент кафедры⁽²⁾,
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»*

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире тонкие пленки используются во многих областях науки и техники. В сфере режущего инструмента актуальны вопросы, связанные с повышением качества и скорости обработки, снижением временных издержек и затрат на инструмент. Один из путей решения обозначенных проблем – использование упрочняющих покрытий на основе твердых и нанокompозитных тонких пленок. Нанокompозитные тонкопленочные покрытия, содержащие в своем составе твердые и твердосмазочные материалы, представляют практический интерес благодаря повышенным трибологическим характеристикам, которыми обладают. Снижение трения и адгезионного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом способствует повышению качества металлообработки, снижает производственные затраты. Одним из способов снижения коэффициента трения покрытия является добавление дисульфида молибдена в состав покрытий.

Дисульфид молибдена – неорганическое бинарное химическое соединение четырехвалентного молибдена с двухвалентной серой. Химическая формула – MoS_2 . Вследствие слоистой, анизотропной структуры с низким усилием связи между плоскостями, дисульфид молибдена обладает выдающимися антифрикционными свойствами. Современные твердые упрочняющие покрытия на основе соединений титана (например, TiSiBN , TiBN , TiAlN и т.п.) низкими трибологическими характеристиками, коэффициент трения скольжения по стали достигает значений порядка 0.6-0.8. Использование в составе многослойных и нанокompозитных покрытий дисульфида молибдена обеспечивает существенное повышение трибологических характеристик.

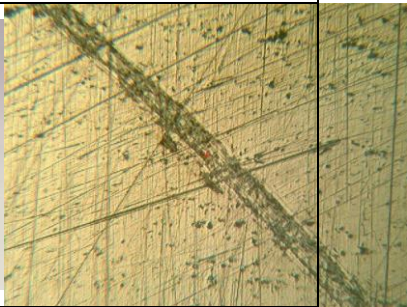
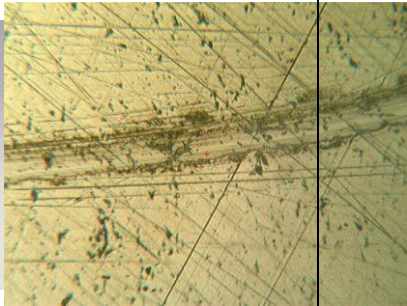
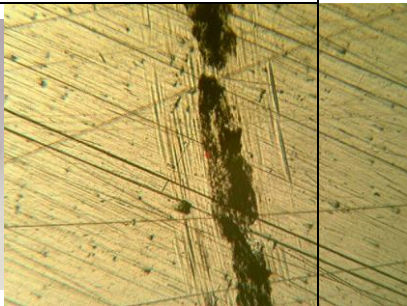
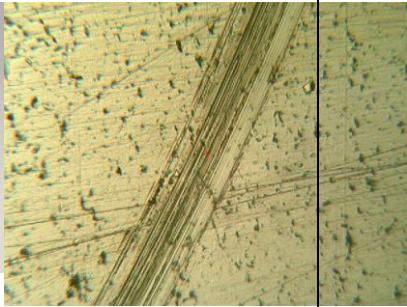
В трибологическом контакте пары трения или инструмента с обрабатываемой поверхностью в твердых упрочняющих покрытиях возникают высокие локальные контактные напряжения и сдвиговые напряжения, увеличивающиеся с повышением коэффициентом трения. Рассматриваемые эффекты особенно проявляются на начальной стадии процесса, которая характеризуется как этап приработки, и способствуют снижению износостойкости покрытия. Для решения этой проблемы используют мягкие притирочные покрытия, наносимые поверх твердых пленок, уменьшающие негативный эффект «жесткой» приработки.

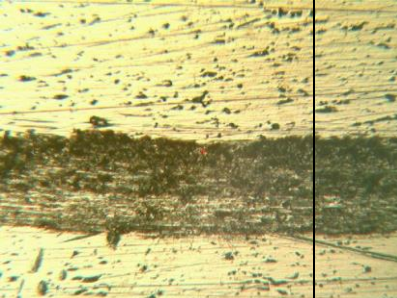
Тонкопленочные покрытия дисульфида молибдена обеспечивают коэффициент трения скольжения по стали на уровне значений 0.1 и менее при высоких контактных нагрузках и работоспособны до относительно высоких температур (400-500°C). В этой связи, практический интерес представляет использование дисульфида молибдена в упрочняющих покрытиях, в том числе, и в качестве притирочного слоя. Покрытие дисульфида молибдена может быть нанесено поверх твердого покрытия на поверхности технологического инструмента: сверл, режущих дисков, твердосплавных пластин и т.д.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки степени влияния притирочного слоя MoS_2 на трибологические характеристики некоторых покрытий, на кафедре МТ11 МГТУ имени Н.Э.Баумана были подготовлены и проведены следующие эксперименты. На поверхность сверл и плоские металлические подложки методом магнетронного распыления наносились следующие покрытия (таблица 1). Плоские подложки использовались для измерения трибологических характеристик покрытий на стенде, схема которого представлена на рисунке 1.

Таблица 1. Экспериментальные образцы с покрытиями и вид дорожек трения на подложках после испытаний на трибометрическом стенде.

Номер образца	Покрытие	Образцы сверл и подложек	Внешний вид дорожки трения на подложках
1	TiCN		
2	TiCN+ MoS_2		
3	HfZrN		
4	HfZrN+ MoS_2		

5	TiMoS ₂ Al		
---	-----------------------	--	---

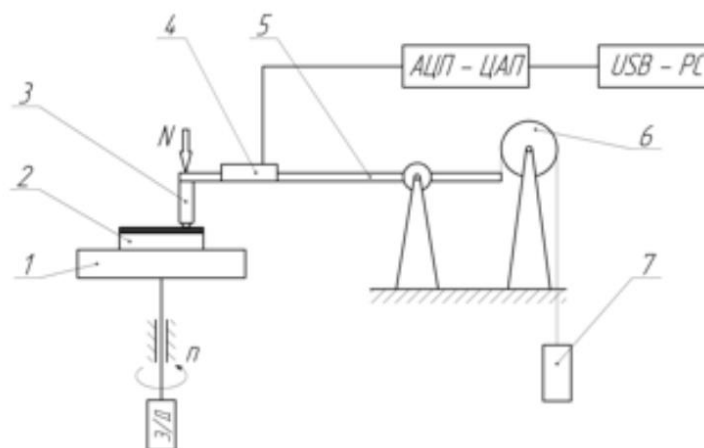


Рис. 1 – Схема трибометрического стенда

1 – предметный столик; 2 – исследуемый образец; 3 – индентор; 4 – тензобалка; 5 – коромысло; 6 – блок; 7 – груз.

Исследования проводились на трибометрическом стенде в лаборатории кафедры МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Схема стенда представлена на рисунке 1. В стенде реализована известная схема измерения "Pin-On-Disk", широко используемая в современных трибометрах. На опоре, в подшипниковом узле стенда размещается коромысло 5, в левом плече которого размещается тензобалка 4 с закрепленным на ее конце индентором 3 (pin). В основании индентора крепится контртело, приводимое в контакт с поверхностью исследуемого образца. В экспериментах для этих целей использовался шарик из стали ШХ15. К правому плечу коромысла 5 посредством троса через блок 6 прикладывается усилие от груза 7, создающего необходимое контактное взаимодействие в паре трения «контртело»-«образец». На правом плече коромысла также имеется система регулировочных грузов для балансировки системы в ненагруженном состоянии. Предметный столик 1 с расположенным на нем исследуемым образцом 2 приводится во вращение асинхронным двигателем с регулятором частоты.

По результатам измерений, средние значения коэффициента трения на этапах функционирования отдельных слоев покрытия в процессе трибометрических испытаний, были сведены в таблицу 2. Износостойкость покрытия оценивалась по времени его истирания.

Таблица 2 – Результаты измерений коэффициента трения и износостойкости покрытий.

Номер образца	Покрытие	Коэффициент трения		Время истирания, с	
		Твердый слой	Твердосмазочный слой	Твердый слой	Твердосмазочный слой
#2	TiMoS ₂ Al	0,425	-	150	-
#3	TiMoS ₂ Al	0,107	-	4600	-
#12	TiBN	0,325	-	100	-
#8	TiBN + MoS ₂	0,19	0,135	350	75
#9	TiCN	0,2	-	5250	-
#10	TiCN + MoS ₂	0,212	0,125	5950	75
#5	HfZrN	0,13	-	4700	-
#13	HfZrN + MoS ₂	0,175	0,052	5400	60
#0	Подложка	0,625	-	-	-

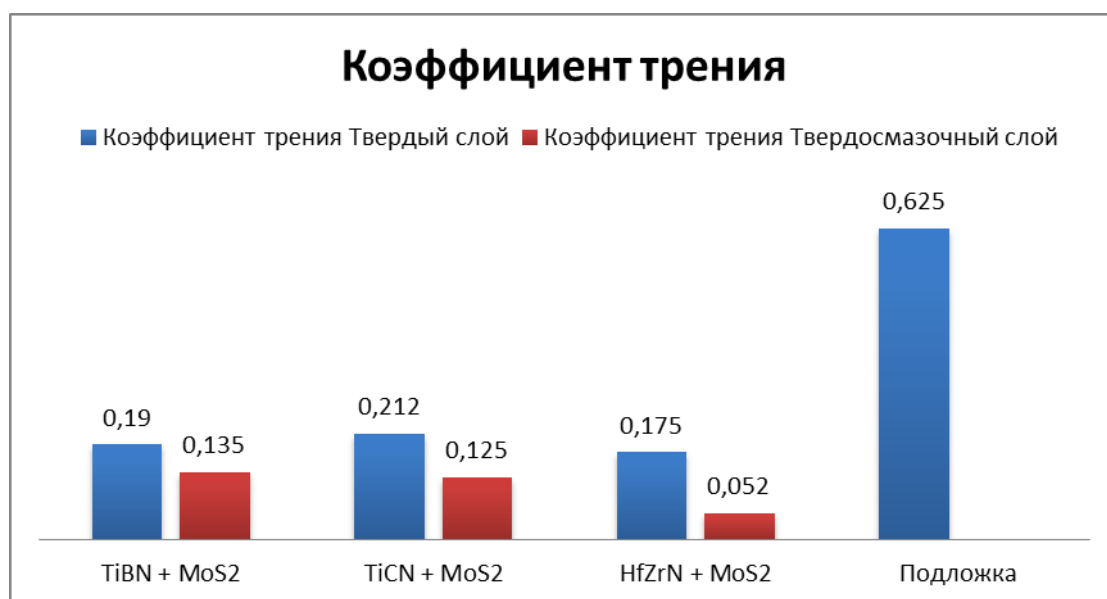


Рис. 2 – Гистограмма и значения коэффициентов трения для полученных образцов.

ВЫВОДЫ

Опираясь на полученные в ходе выполнения работы результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Добавление верхнего слоя MoS₂ во всех случаях способствует существенному снижению трения на начальной стадии функционирования твердых покрытий. Для твердого покрытия HfZrN эффект снижения трения является наиболее существенным.
2. Покрытия HfZrN+MoS₂ и TiCN+MoS₂ обладают наилучшими трибологическими характеристиками и могут быть использованы при металлообработке без использования смазывающе-охлаждающих жидкостей.

Литература

1. *Беликов А.И., Шарапов М.А., Селезнев А.В.*. Исследование антифрикционных свойств многослойных тонкопленочных композиций на основе MoN, TiCN и MoS₂ // Высокие технологии в промышленности России: Материалы XV Международной научно-технической конференции. – М., 2009 - С.419-422.
2. *Sam Zhang, Nasar Ali* – Nanocomposite thin films and coatings., 2007 by Imperial College Press.
3. *Григорьев С. Н., Табаков В. П., Волосова М. А.* Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента/
<http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2012/Grigorjev.pdf>
4. *Peter M. Martin.* –Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings. Science, Application and Technology. Second Edition – United States: Elsevier Inc., 2005. – 911 с.
5. *Беликов А.И., Шарапов М.А., Хабинская Е.И.* Исследование механических и трибологических свойств тонкопленочных структур на основе слоев MoN, TiCN и MoS₂ // Высокие технологии в промышленности России: Материалы XIV Международной научно-технической конференции. – М., 2008 – С.474-477.