

3. **Шустер Л. Ш.** Адгезионное взаимодействие твердых металлических тел. Уфа: Гилем, 1999. 199 с.
4. **Резников А. П.** Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
5. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
6. **Лоладзе Т. П.** Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
7. **Мухин В. С., Шустер Л. Ш.** Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов: Учебное пособие Минвуза СССР. Уфа: УАИ, 1987. 216 с.

## ОБ АВТОРЕ



**Мигранов Марс Шарифуллович**, д-рант каф. ОКМиМ. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1987). Канд. техн. наук по процессам мех. и физ.-техн. обработки, станкам и инструментам (УГАТУ, 1995). Иссл. в обл. износостойкости реж. инструмента и повыш. эффективности обработки резанием.

УДК 621.726

М. Ш. МИГРАНОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЗЦОВ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННЫХ КАРБИДОМ ТИТАНА

Представлены результаты исследования особенностей износа режущих инструментов, изготовленных путем спекания порошков на основе быстрорежущей стали. Показано, что порошковые инструментальные материалы на основе быстрорежущей стали, дополнительно легированные карбидом титана (карбидосталь), обладают высокой износостойкостью и их можно классифицировать как новый класс самоорганизующихся инструментальных материалов. Как показали исследования, износостойкость такого инструмента в 2–3,5 раза выше износостойкости обычных инструментов из быстрорежущей стали. *Износостойкость; самоорганизация при трении; инструментальные материалы; триботехнические свойства; вторично-ионная масс-спектрометрия, Оже-электронная спектроскопия*

## ВВЕДЕНИЕ

Как правило, традиционные инструментальные материалы имеют повышенную твердость. Однако известно [1], что износостойкость инструментов в значительной мере определяется свойствами поверхности. Тем не менее, твердость чаще всего используется как отправная точка при определении принципов для плавания, спекания, легирования инструментальных материалов, и это в какой-то степени закономерно.

В настоящее время лезвийная обработка резанием требует более полного использования последних достижений в трибологии. Термодинамические подходы к анализу контактных явлений при трении и износе в последние годы отражены в трудах по трибологии [1–4]. Трибосистема рассматривается как открытая термодинамическая система и описывается первым и вторым принципами термодинамики. Согласно первому принципу, работа сил трения ( $W_{тр}$ ) в основном преобразуется в тепло ( $Q$ ) и частично во внутреннюю энергию материалов трибосистемы ( $\Delta E$ )

$$W_{тр} = Q + \Delta E.$$

Процессы разрушения и отделения частиц износа возникают и развиваются в результате увеличения (активации) и уменьшения (пассивации) энергии поверхности. Высвобождение тепла ( $Q$ ) обуславливает термическую активацию процес-

сов при трении. Величина ( $\Delta E$ ) играет основную роль в контактных процессах в зоне резания, определяет механизм развития новых фаз и структур, контролирует величину и тип их деформации и последующее разрушение. Активация приводит поверхностные слои в неравновесное состояние. Таким образом, за активацией следует пассивация с последующим взаимодействием с окружающей средой и образованием защитных структур.

Согласно второму принципу термодинамики в открытых системах при определенных соотношениях потоков энергии и вещества можно наблюдать процессы упорядочения. Этот процесс соответствует уменьшению энтропии и появлению самоорганизующихся рассеивающихся структур [1, 3]. Это и есть отличие открытых систем от закрытых, где энтропия может только увеличиваться. Термин «структура» в этом случае рассматривается в термодинамическом смысле как вид связи между отдельными частями системы. Для явления самоорганизации характерен принцип экранирования, и состоит он во взаимосвязи процессов разрушения и регенерации (восстановления) в зоне трения. Другими словами, существует динамическое равновесие между процессами активации и пассивации на поверхностных слоях. Когда равновесие нарушается, начинается разрушение материала поверхности. Таким образом, эффект экранирования при трении препятствует всем видам непосредственного взаимодействия поверх-



ностей трибопары и разрушению основного металла. Контакт трибопары осуществляется с помощью вторичных структур, образующихся в зоне трения. Рассеивание энергии во время трения связано с формированием устойчивых рассеивающих структур на контактной поверхности. Этот процесс можно рассматривать как пример использования самоорганизующихся явлений в технике.

Самоорганизация во время трения сопровождается уменьшением эффективного объема материалов, в которых все виды взаимодействия имеют место, в том числе и локализация взаимодействий в тонких слоях на поверхности. Этот процесс происходит с максимальным расходом энергии, вплоть до разрушения. Одновременно самовосстанавливающиеся тонкие пленки появляются на трещащих поверхностях, и их свойства существенно отличаются [3].

Значение применения этого явления в технике и технологии неоспоримо. Уже в настоящее время можно говорить о перспективных разработках материалов нового поколения. В инструментальном производстве произойдет переход к материалам с программируемыми свойствами самоорганизации. Такие материалы, по прогнозам, будут иметь существенное значение в будущем [5]. Можно предположить, что основную концепцию конструирования трибосопрежений обеспечат самоорганизующиеся износостойкие материалы. Основное отличие таких материалов от традиционных состоит в их активной адаптации к внешним физическим воздействиям. Фазовые и структурные превращения с образованием устойчивых слоев, которые эффективно защищают контактирующие поверхности инструментов, возникают в этих материалах в зоне резания. Эти фазы обладают хорошими термическими свойствами, высокой прочностью и обеспечивают низкие коэффициенты трения. Легирование самоорганизующихся материалов должно способствовать развитию этих явлений. В этом случае появляется возможность направленно воздействовать на трение и способствовать максимальному увеличению износостойкости трибосистемы [6].

Целью данной работы является определение конкретных методов воздействия на трение и износ инструментов при резании на основе явления самоорганизации. Решение этой задачи включает в себя:

1) исследование процессов износа и явления самоорганизации при резании с инструментами, спеченными из порошковых материалов на основе быстрорежущей стали с добавлением карбида титана;

2) анализ дополнительного легирующего воздействия на состав, структуру и свойства вторичных структур при резании инструментами, изготовленными из рассматриваемых материалов.

В данной статье приведены результаты, полученные при исследовании первой части поставленной задачи. На основании решения задачи в целом предпринята попытка выявить легирующие присадки для самоорганизующихся материалов, используемых в инструментальном производстве.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе исследовались износостойкость и триботехнические характеристики при изменении состава и атомной структуры поверхностного слоя материала во время обработки (резания). В качестве исследуемых материалов были выбраны: быстрорежущие стали (Р6М5, Р12МЗФ2К5) и порошковые спеченные сплавы на основе быстрорежущих кобальтовых сталей с добавлением 20% карбида титана. Их состав и свойства приведены в табл. 1. Технология производства спеченных порошковых материалов включает в себя: смешивание порошковых материалов, их спекание и горячую штамповку выдавливанием.

Исследования износостойкости проводились при обработке точением углеродистой стали, содержащей 0,45 массы С (сталь 45) четырехгранными быстросменными инструментальными пластинами (с размерами 12×12 мм). Режимы резания приведены в табл. 2.

Триботехнические свойства исследуемых трибопар были определены с помощью адгезиомера, конструкция которого описана в работе [6]. Для этого индентор из исследуемого инструментального материала сжимался двумя отполированными образцами, изготовленными из обрабатываемой стали 45 (твердостью HRC 30 или HB 180, см. рис. 1). Чтобы смоделировать рабочие условия трения, поверхность образцов нагревали электроконтактным методом. Температура во время испытаний изменялась в диапазоне от 150 до 500°С. Стандартные нагрузки доходили до 2400 Н, тем самым обеспечивая пластическую деформацию на контакте. В качестве критерия износостойкости использовали адгезионную составляющую коэффициента трения, ответственную за интенсивность износа при резании с быстрорежущей сталью. Этот параметр был определен как отношение прочности адгезионных связей на срез ( $\tau_n$ ) к нормальным напряжениям ( $P_{rn}$ ), действующим на поверхности сферы индентора при соответствующей температуре.

Согласно работе [6], предполагалось, что при взаимодействии двух твердых тел (особенно при высоких температуре и давлении) на контактирующей поверхности возникает слой, представляющий собой так называемое «третье тело». Этот слой способен существовать в различных состояниях: как в жидком, так и в твердом. Расчетная величина  $\tau_n$  в данной работе есть не что иное как сопротивление сдвигу «третьего тела» под давлением, вызывающим пластическую деформацию в наиболее мягком из контактирующих твердых тел. Очевидно, что условия трения на поверхности режущего инструмента близки к условиям, для которых была рассчитана величина  $\tau_n$ .

Исследование микроструктуры поверхности инструмента выполнялось с помощью сканирующей электронной микроскопии и локального рентгеновского спектрального анализа на микроскопе JSM-U3, оборудованном рентгеновским



Таблица 1

Химический состав исследуемых инструментальных материалов

Материал	ГОСТ	AISI	Химический состав, %						
			C	W	Mo	Cr	V	Co	Ti
P6M5.....	19265-73	M2	0,8-0,88	5,0-5,5	5,0-5,5	3,8-4,2	1,7-2,1	-	-
P12M3Ф2К5	-	~T15	1,05-1,15	11,5-12,5	2,5-3,0	3,9-4,3	1,8-2,3	5,0-5,5	-
Карбидосталь	-	-	4,5-5,0	4,8-5,8	3,8-4,3	3,0-7,5	1,3-1,8	3,8-4,3	15,0-17,0

Таблица 2

Режимы резания

Обрабатываемый материал	НВ	Скорость резания, м/мин	Глубина, мм	Подача, мм/об
Сталь 45.....	180-200	70-55	0,5	0,28

спектрометром для рассеивания волн на основе двух кристаллов при ускоряющем напряжении в 20 кВ. В качестве анализаторов использовались кристаллы LiF и MYR.

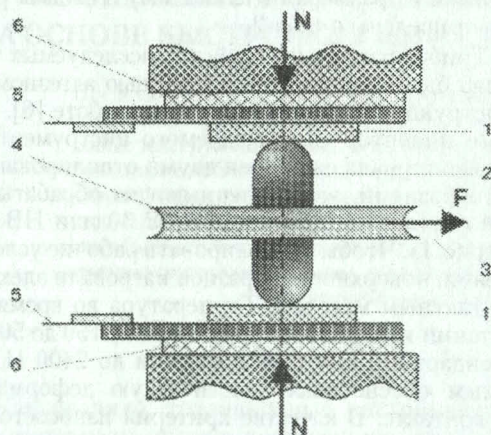


Рис. 1. Модель установки для исследования триботехнических свойств: 1 — отполированные образцы из обрабатываемого материала; 2 — индентор; 3 — трюстик, обеспечивающий вращение индентора; 4 — специальный диск; 5 — медные пластины; 6 — изоляторы

Химические и фазовые составы инструментальных материалов, а также составы пленок, образовавшихся на инструменте и в лунках, исследовались с помощью сканирующей Оже-электронной спектроскопии (ОЭС/AES) и спектроскопии вторичной массы (СВИИМ/SIMS). Это было сделано с помощью спектрометра ESCALAB-MK2, оборудованного электронным прожектором LEG200, ионным прожектором AG6 и анализатором ионной массы SQ300 квадрупольного типа.

Для исследования химического состава были изготовлены образцы в виде косых шлифов под углом 5° к верхней части режущих пластинок. Эти образцы позволили исследовать гетерогенность состава на небольшой глубине под поверхность, включая образовавшиеся пленки. До проведения исследования образцы обезжиривались, затем помещались во внутрь подготовительной камеры

спектрометра и подвергались 5-минутному травлению в среде ионов аргона. Травление осуществлялось под давлением газа в  $10^{-4}$  Па и со скоростью травления порядка 20 монослоев в минуту. Такая подготовка образцов исключила воздействие случайного загрязнения на результаты анализа. Поверхность образцов была исследована на различных глубинах, начиная от поверхности: либо с помощью стационарного электрона и ионных лучей, либо сканированием их по выбранному направлению.

Оже-спектры были зарегистрированы в режиме CRR = 4 при скорости в 2,1 эВ/с, с первичной электронной энергией  $E = 5000$  эВ и при вакууме порядка  $2 \cdot 10^{-8}$  Па. При проведении спектроскопии массы ионный луч аргона диаметром 0,5 мм был зафиксирован на участке мишени (заданной точке) при ускоряющем напряжении в 5,0 кэВ и давлении аргона в  $2 \cdot 10^{-5}$  Па. При заданном режиме скорость травления не превышала 1 монослоя в минуту. Анализ был сделан в режиме, приближенном к статическому.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что порошковые сплавы на основе быстрорежущей стали, легированные карбидом титана, принадлежат к самоорганизующимся материалам [3]. На рис. 2, а показано распределение фаз с различной твердостью в структуре спекаемых порошковых материалов на основе быстрорежущей стали. Фотоснимок отполированного косого шлифа был получен на сканирующем электронном микроскопе в режиме вторичной электронной эмиссии. Контрасты, появившиеся на электронном изображении, связаны с различием химического состава в некоторых микроразделах образца, а именно: содержанием элементов легкого и тяжелого веса (так называемого контраста по атомному числу). Темные угловые частицы больших размеров титанового карбида (менее 20 мкм в поперечном сечении), а также рассеянные сферические вольфрамовые и молибденовые карбиды (менее 0,2-1,0 мкм в диаметре) в структуре матрицы, мелкие частицы на основе быстрорежущей стали равномерно распределены по всему объему.



Таблица 3

Свойства исследуемых материалов

Исследуемый материал	Режимы спекания			Физико-механические свойства		
	Температура затвердевания, °С	Температура прессования, °С	Твердость после спекания, HRC	Прочность, МПа	Теплопроводность, кДж/м <sup>2</sup>	Термостойкость, °С
P6M5.....	1220	560	63–65	3200	400	610
P12M3Ф2K5	1240	560	67–68	2400	220	645
Карбидосталь	1210	560	69–70	2000	80	655

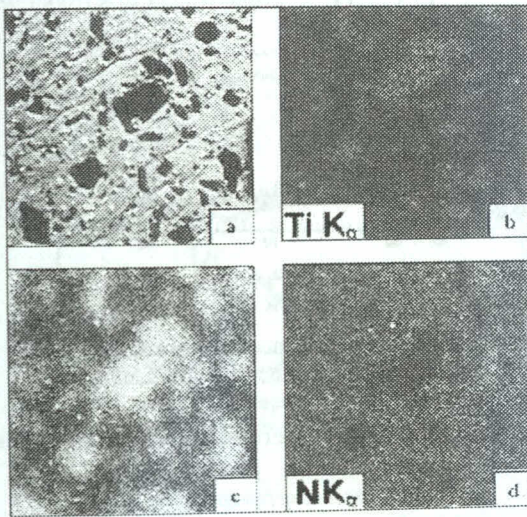


Рис. 2. Микроструктура спеченного порошкового материала на основе быстрорежущей стали с добавлением 20% карбида титана (кратность увеличения  $\times 750$ ): а — вид поверхности во вторичных электронах; б — вид поверхности эмиссии Ti K $\alpha$ ; в — вид поверхности эмиссии C K $\alpha$ ; г — вид поверхности эмиссии N K $\alpha$

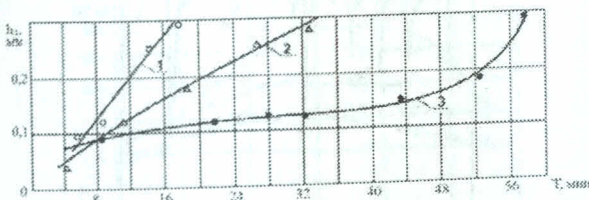


Рис. 3. Зависимость износа по задней поверхности от периода стойкости инструмента при точении стали 45: 1 — P6M5; 2 — P12M3Ф2K5; 3 — P6M5 + 20% TiC

Как следует из рентгеновского спектрального анализа, в образцах наблюдается значительная неоднородность в распределении легких элементов, таких, как С и N. На рис. 2, б–г представлено изменение в интенсивности характерной K $\alpha$  эмиссии Ti, С и N во время прохождения луча над областью образца, представленного на рис. 2, а. Было обнаружено, что содержание углерода в титановых, вольфрамовых и молибденовых карбидах в матрице выше, чем в твердом растворе. Азот содержится в основном в матрице быстрорежущей стали. Его наличие, вероятно, связано с растворением при напылении порошком из быстрорежущей стали в азотной среде (как это делалось

на первых стадиях производства этого инструментального материала).

Результаты испытаний на износостойкость приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что износ инструментов по задней поверхности из обычных быстрорежущих сталей значительно (в 2,0–3,5 раза) больше износа инструмента из спеченного порошкового материала. Такие результаты получились в основном за счет снижения интенсивности изнашивания и расширения зоны нормального износа.

В зоне нормального износа уровень интенсивности изнашивания инструмента из спеченного порошкового материала гораздо ниже, чем для быстрорежущей стали (рис. 3, кривая 3). Электронная микроскопия поверхности образцов, изготовленных из различных материалов, не показала качественных изменений в механизме износа. Резание с наростообразованием типично для инструментов из всех исследуемых материалов, причем наростообразование достаточно стабильное во всех случаях. Хотя величины твердости и термостойкости быстрорежущей стали P12M3Ф2K5 и спеченного порошкового материала (карбидосталь) довольно близки (табл. 3), износостойкость последнего значительно выше. Различие в интенсивности изнашивания можно объяснить процессами на поверхности инструмента. По нашему мнению, более низкая интенсивность износа инструментов из спеченных порошковых материалов может быть связана с присутствием карбида титана в их структуре и в значительной степени с образованием соединений, содержащих кислород (кислородсодержащих соединений) при резании.

Действительно, при исследовании методом электронной микроскопии (STMS) в фазовом составе поверхности инструмента и в лунке под индентором было обнаружено образование кислородсодержащих фаз. Данные, приведенные на рис. 4, а, показывают, что преобразование карбида титана в кислородсодержащую фазу происходит уже на начальной стадии износа (в зоне приработочного износа). В процессе дальнейшего резания увеличивается образование окиси титана на контактных поверхностях (рис. 4, б и в). Этот процесс сопровождается стабилизацией интенсивности износа (рис. 3, 4, б, в) с уменьшением его величины и расширением зоны нормального износа. Очевидно, это определяется явлением самоорганизации, которое связано с возникновением при трении вторичных структур в виде титан-кислородсодержащих соединений, игра-



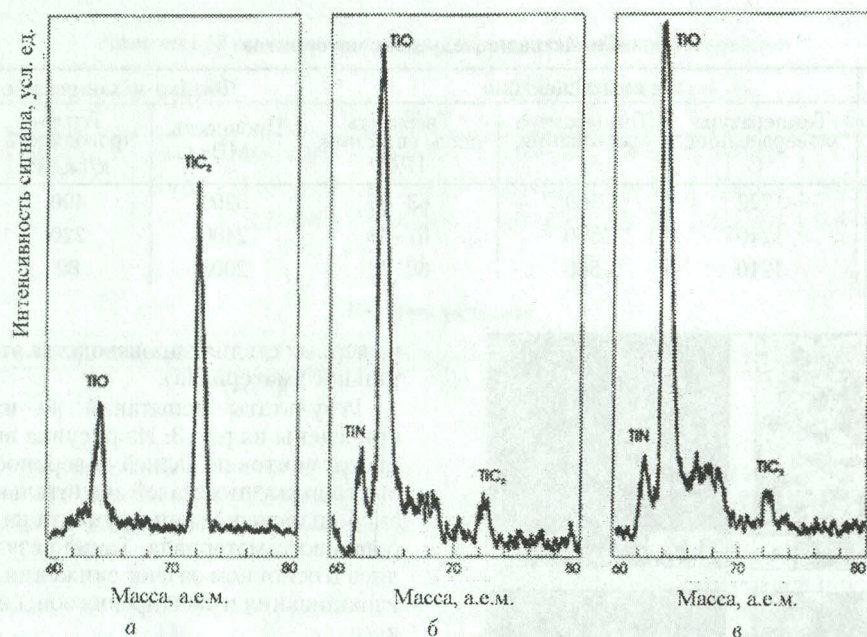


Рис. 4. Спектры вторичной массы поверхности инструмента из спеченного порошкового материала в зависимости от времени резания: а — после 4 мин; б — после 20 мин; в — после 24 мин

ющих роль твердой смазки и устойчивых при резании [3]. Как показали результаты исследования, тонкие поверхностные пленки типа TiO эффективно защищают поверхностный слой от дальнейшего износа и стабилизируют процесс износа.

На явления структурной самоорганизации поверхностного слоя указывают и результаты исследования подповерхностных слоев обрабатываемого материала. Данные, полученные с помощью ОЭС/AES и представленные на рис. 5, показывают, что с увеличением времени резания содержание кислорода на поверхности контакта с резцом понижается. В то же время содержание углерода и азота увеличивается. Это отчетливо проявляется в изменениях интенсивности характерных KLL-линий O, N и C на Оже-спектрах (рис. 5, а, б).

При сканировании ОЭС/AES косых шлифов была исследована природа химической микрогетерогенности наростов (налипов) и пленок, образовавшихся на режущем инструменте. На рис. 6 представлено распределение интенсивности характерных Оже-KLL-линий для O, N, C и LMM-линий из Ti при прохождении электронного луча над поверхностью косого шлифа. Проходящий луч пересекает наросты (из стали 40, точка на координате 0) и приповерхностные пленки, образовавшиеся на режущем инструменте (точка на координатах 0 — 1,4 мкм). Наблюдаемые изменения в химическом составе приповерхностного слоя инструмента связаны с тем фактом, что при высоких температурах (свыше 450°C) карбид титана метастабилен (неустойчив) и имеет тенденцию к разрушению. Вследствие ярко выраженного химического родства с кислородом титан поглощает его из окружающей среды и образует тонкие пленки из кислородсодержащих соединений, при этом углерод наряду с азотом диффундируют

из поверхности режущего инструмента в стружку (рис. 6).

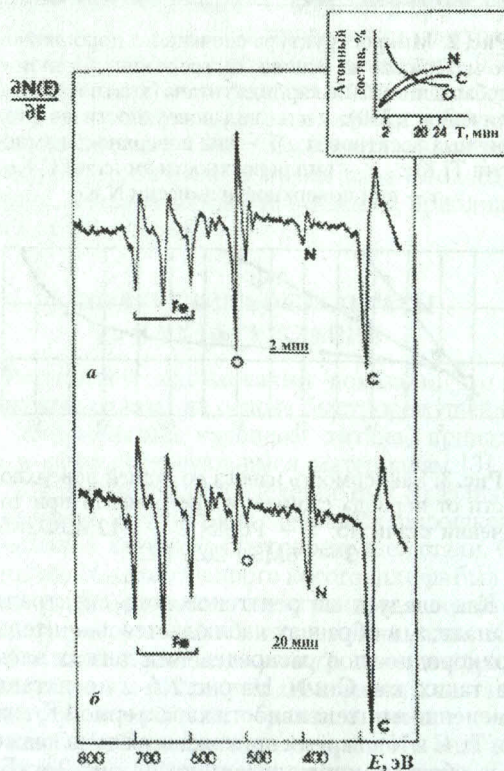


Рис. 5. Оже-спектры поверхности обрабатываемого материала: а — после 2 мин резания; б — после 20 мин резания

Диффузия этих элементов имеет место при высоких температурах и напряжениях в зоне резания. Представленные результаты соответствуют



данным, полученным ранее при исследовании изменений в химическом составе поверхности инструмента с покрытием из нитрида титана TiN (ФОП/PVD).

Вышеуказанные данные подтверждаются результатами триботехнических испытаний инденторов, изготовленных из быстрорежущей стали и спеченных порошковых материалов. Результаты испытаний, приведенные на рис. 7, показывают, что по мере повышения температуры фрикционные параметры контакта «инструмент-деталь» изменяются немонотонно.

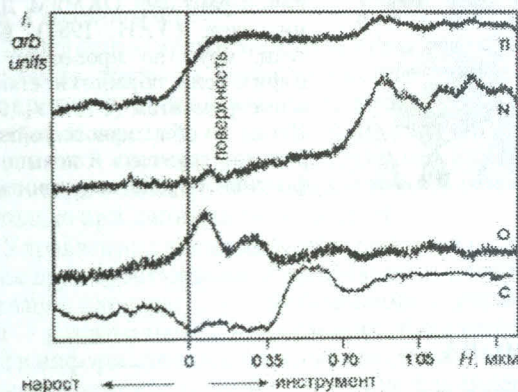


Рис. 6. Распределение химических элементов в контактной зоне

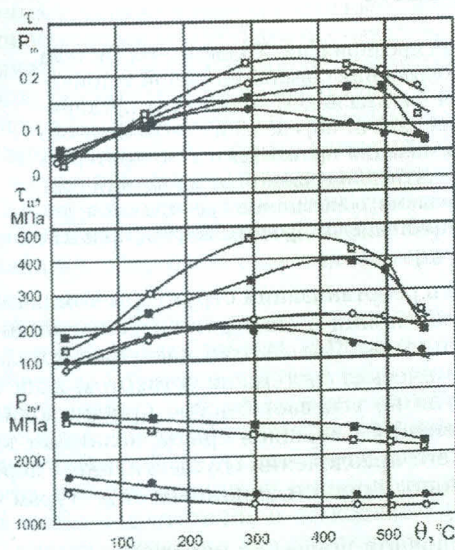


Рис. 7. Влияние температуры на триботехнические свойства материалов: ■ — P6M5 + 20%TiC; ○ — Сталь 45 (HB 180 ... 200); □ — P6M5; ● — Сталь 45 (HRC 30..32)

В диапазоне температур 150–400°C увеличение параметров фрикционного контакта связано с интенсификацией адгезионного взаимодействия на контактных поверхностях. Кривые для быстрорежущей стали и для спеченных порошковых материалов подобны друг другу. Однако если при температурах до 200°C величины фрикционных параметров практически одинаковы для всех исследуемых материалов, то при более высоких тем-

пературах разница между ними начинает увеличиваться.

При температуре около 300°C схватывание (адгезия) на фрикционной контактной поверхности максимальное. Но фрикционные параметры у спеченных порошковых материалов значительно ниже, чем у обычных быстрорежущих сталей. Это явление, несомненно, связано с окисляемостью карбида титана и с образованием кислородсодержащих соединений на поверхности. Различные фрикционные параметров у быстрорежущей стали и у спеченных порошковых материалов максимально при температурах, приближающихся к температурам (550–600°C) работы инструмента при обработке резанием. Это предопределяет высокие эксплуатационные свойства инструментов из спеченных порошковых материалов (рис. 3).

Таким образом, полученные результаты показывают, что легирование спеченной порошковой быстрорежущей стали карбидом титана TiC значительно влияет на износостойкость инструмента, особенно если в процессе резания происходит интенсивное преобразование этих соединений в устойчивые кислородсодержащие фазы, которые эффективно защищают контактные поверхности от схватывания (адгезии) при резании, что может широко использоваться в металлообработке материалов с высокой износостойкостью (коронитов, карбидосталей и т. д.).

Вышеупомянутые результаты дают возможность сформулировать требования к составу инструментальных материалов с высоким уровнем самоорганизации. Они должны включать в себя базовую фазу (карбид титана TiC), предусматривающую высокие физико-механические свойства. В процессе трения фаза преобразуется так, что вследствие самоорганизации на поверхности будут образовываться прочные (устойчивые) кислородсодержащие фазы в виде тонкой пленки, эффективно защищающие подложку от внешних воздействий при трении. Выявленный принцип можно реализовать разными способами. Однако предложенный способ, по нашему мнению, в некотором роде носит универсальный характер.

### ВЫВОДЫ

Показано, что спеченные порошковые материалы на основе быстрорежущей стали, дополнительно легированные карбидом титана (карбидосталь), имеют высокую износостойкость и могут рассматриваться как новый класс самоорганизующихся инструментальных материалов. К такому можно, в частности, отнести совместно спеченные и прессованные порошки карбида титана в качестве основы и быстрорежущую сталь в качестве связующего вещества. Самоорганизация таких материалов проявляется в их способности образовывать устойчивые высокопрочные вторичные структуры, которые эффективно защищают поверхность инструмента от внешних воздействий при резании.

В процессе резания наблюдается преобразование карбидной фазы в устойчивые вторичные



структуры, имеющие форму соединений из титана и кислорода. Это значительно улучшает фрикционные свойства при рабочих температурах и, как следствие, повышает износостойкость режущего инструмента. В результате износостойкость такого инструмента в 2,0–3,5 раза выше износостойкости инструмента из быстрорежущих сталей.

4. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
5. **Лоладзе Т. Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
6. **Шустер Л. Ш.** Адгезионное взаимодействие твердых металлических тел. Уфа: Гилем, 1999. 199 с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бершадский Л. И.** Самоорганизация и надежность трибосистем. К.: Знание, 1981. 35 с.
2. **Польцер Г., Эбилег В., Фирковский А.** Внешнее трение твердых тел, диссипативные структуры и самоорганизация // Трение и износ. 1988. Т. 9, № 1. С. 12.
3. **Fox-Rabinovich G. S. et al.** Characteristic features of alloying HSS-based deformed compound powder materials with consideration for tool self-organization at cutting // Wear. 1997. 206. P. 214.

#### ОБ АВТОРЕ



**Мигранов Марс Шарифуллович**, д-рант каф. ОКМиМ. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1987). Канд. техн. наук по процессам мех. и физ. техни. обработки, станкам и инструментам (УГАТУ, 1995). Иссл. в обл. износостойкости реж. инструмента и повыш. эффективн. обработки резанием.

УДК 334.76

Л. Р. АМИРХАНОВА

### ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ В СОСТАВЕ ХОЛДИНГА

Объектом исследования является холдинг из однотипных предприятий. Холдинговая система позволяет преодолеть первый ресурсный барьер. Для повышения организационной устойчивости холдинга необходимо решать задачу определения оптимального количества предприятий, входящих в него. Рассматривается метод решения задачи определения оптимального количества однотипных предприятий в холдинге. Оптимизация производится по критерию максимума прироста прибыли в среднем на одно предприятие, получаемой от вложений коллективного фонда в развитие холдинга. *Холдинговая система; однотипные предприятия; ресурсный барьер; устойчивость; оптимальное количество предприятий; фонд развития; прибыль*

Экономические системы предназначены для преобразования ресурсов в необходимую для потребителей продукцию и относятся к классу эволюционирующих. В своем развитии они проходят пять этапов. Каждый из этапов заканчивается кризисом, который преодолевается сменой организационной структуры управления.

На первом этапе развития экономических систем возникает кризис из-за того, что владельцу бизнеса все больше требуется знаний во многих функциональных сферах. На втором этапе наблюдается рост эффективности экономической системы до тех пор, пока менеджеры не начнут чувствовать, что их инициатива сдерживается централизованной системой управления. Возникает кризис, который преодолевается децентрализацией управления. Децентрализация управления позволяет компании осуществить на третьем этапе значительное расширение сферы своей деятельности. Далее в результате обострения конкуренции на рынке предприятия объединяются в холдинг. На третьем этапе менеджеры начинают терять контроль над компанией. Снова возникает кризис. Выход из кризиса третьего этапа заклю-

чается в реорганизации структуры компании с целью разделения ее на стратегические хозяйственные единицы. Пятый этап наступает тогда, когда экономическая система на четвертом этапе своего развития не успевает быстро приспособиться к изменениям внешней среды, возникает кризис, и для его преодоления осуществляется переход к адаптивным организационным структурам управления.

Основной причиной кризисов экономической системы является возникновение информационных и ресурсных барьеров. Какова же их суть?

Управление в экономических системах связано с получением, хранением, передачей и анализом информации. По результатам анализа управляющая часть системы формирует необходимое воздействие на объект управления. Экономическая система может успешно функционировать лишь в том случае, если ее возможности по анализу информации не ниже требуемого уровня. С возрастанием количества задач сложность управления начинает превышать возможности одного человека. Наступает несоответствие между необходимостью и возможностью — это первый ин-