

А.С. Верещака, д-р техн. наук, Москва, Россия
М.Ш. Мигранов, д-р техн. наук, Уфа, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розглядаються деякі підходи впливу на умови тертя при різанні металів шляхом легування спечених порошкових інструментальних матеріалів нового покоління на основі швидкорізальної сталі. Перший спосіб передбачає зниження рівня самоорганізації завдяки зменшенню коефіцієнта тертя при робочих температурах. Це здійснюється присадкою 5% оксиду алюмінію (Al_2O_3). На основі сучасних уявлень трибології можливе розширення інтервалу самоорганізації за допомогою стійкої високоміцної вторинної структури, що з'являється на поверхні інструменту. В цьому суть другого принципу легування. Це досягається за допомогою присадки 2% BN (шестигранного). Застосування обох методів дає можливість значного збільшення зносостійкості інструменту. Це досягається за допомогою присадки 20% TiCN.

Рассматриваются некоторые подходы воздействия на условия трения при резании металлов путем легирования спеченных порошковых инструментальных материалов нового поколения на основе быстрорежущей стали. Первый способ предполагает снижение уровня самоорганизации благодаря уменьшению коэффициента трения при рабочих температурах. Это осуществляется присадкой 5% оксида алюминия (Al_2O_3). На основе современных представлений трибологии возможно расширение интервала самоорганизации с помощью устойчивой высокопрочной вторичной структуры, появляющейся на поверхности инструмента. В этом суть второго принципа легирования. Это достигается с помощью присадки 2% BN (шестигранного). Применение обоих методов дает возможность значительного увеличения износостойкости инструмента. Это достигается с помощью присадки 20% TiCN.

We review some approaches impact on the conditions of friction in metal cutting by means of doping sintered powder tool materials based on the new generation of high speed steel. The first method involves reducing the level of self-organization by reducing the friction coefficient at the operating temperatures. This additive is 5% of aluminum oxide (Al_2O_3). On the basis of modern concepts of tribology can expand the interval by means of self-sustained high secondary structure, which appears on the surface of the tool. This is the essence of the second principle of doping. This is achieved using additive 2% BN (hexagonal). The use of both techniques allows a significant increase in wear resistance of tools. This is achieved using additive 20% TiCN.

Введение

Исследования износа инструментов из спрессованных и спеченных гетерогенных составных порошковых материалов на основе быстрорежущей стали с добавлением соединений с высокой точкой плавления показали, что эти материалы являются самоорганизующимися [1]. Они способны образовывать во время работы устойчивые высокопрочные вторичные структуры, которые эффективно защищают трущуюся поверхность инструмента от повреждения [2].

Принимая во внимание термодинамические концепции, можно разделить весь спектр процессов, имеющих место при трении, на 2 группы: первая – это нормальное трение, и вторая – это катастрофическое трение, уязвимое

по повреждениям. В течение всего периода работы при обычном трении и относительно нормального износа макроскопических разрушений на поверхности трибопары не наблюдается. При этом самоорганизация во время износа происходит благодаря способности трибопары организовывать спонтанно устойчивые упорядоченные рассеивающиеся структуры, которые защищают основной материал трибопары от непосредственного контакта и разрушения.

Защитные вторичные структуры представляют собой тонкие пленки на поверхности трения, которые создаются в условиях высокой деформации при температурах нагревания, вызывающих диффузию, при адсорбции, а также при различных реакциях разложения и ассимиляции [2].

Данная статья посвящена проблеме легирования порошковых материалов на основе быстрорежущей стали для воздействия на условия трения и износа. Рассматриваемая концепция основана на том факте, что легирование значительно влияет на химический состав вторичных фаз, возникающих на трущейся поверхности инструмента. Таким образом, можно увеличить износостойкость путем расширения интервала самоорганизации, а также путем увеличения уровня самоорганизации. Первое достигается образованием устойчивых высокопрочных вторичных фаз с низкой теплопроводностью, а последнее – в результате уменьшения коэффициента трения [3].

Экспериментальные исследования

Данное исследование выполнялось на инструментальных материалах, состав и свойства которых приведены в таблицах 1–3. Износостойкость материалов исследовалась при точении стали 40X при различных скоростях резания резцами с быстросменными пластинами 12x12 мм. Режимы резания приведены в табл. 2.

Химический состав вторичных фаз, появляющихся во время работы инструмента из спеченного составного порошкового материала исследовался с помощью спектроскопии вторичной ионной массы (ВИМС). Были исследованы косые шлифы с углом в 5° к верхней стороне режущей пластины. Принимая во внимание гетерофазовый характер образцов из спеченных порошковых инструментальных материалов (СПИМ), мы исследовали средний химический состав базовой поверхности инструмента и химический состав зоны износа [4].

Таблица 1 – Состав исследуемых материалов

Исследуемый материал	Фазовый состав сплава		Основа
	Твердая фаза		
	Состав	Содержание в %	
СПИМ с 20% TiC	TiC	20	Быстрорежущая сталь типа P6M5K5
СПИМ с TiCN	TiCN	20	
СПИМ с TiCN и BN	TiCN	20	
	BN	2	

Таблица 2 – Материал и режимы резания при испытаниях

Обрабатываемый материал	Твердость, <i>HV</i>	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Глубина резания, мм
Сталь 45X	180 - 200	70	0,28	0,5

Таблица 3 – Свойства исследуемых инструментальных материалов

Материалы	Термообработка		Физико – механические свойства			
	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Твердость, <i>HRC</i>	Прочность на изгиб, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	Термостабильность, °С
Б/режущая сталь + 20% TiC	1210	~550	89	2100	80	655
Б/режущая сталь + 20% TiCN	1210	~550	88	2200	110	640 - 650
Б/режущая сталь + 20% TiC + 2% BN	10 12	~5 50	8 8	–	–	–

Результаты и обсуждение

В данной работе предпринята попытка разработки новых подходов к воздействию на условия трения в особых трибосистемах (режущий инструмент – обрабатываемая деталь) путем легирования порошковых материалов. В составе СПИМ, приведенном в табл. 1, в качестве основы рассматривалась быстрорежущая сталь. Мы стремились повысить износостойкость инструмента за счет расширения интервала самоорганизации (ИС), путем снижения уровня самоорганизации (УС), а также одновременного изменения этих характеристик, влияющих на самоорганизацию инструмента и его адаптацию к условиям резания. Для этого было необходимо определить такие составы материалов, которые обладают наиболее благоприятными свойствами трения при рабочих температурах, т.е. применять основной способ контроля за трением, связанным со снижением уровня самоорганизации (УС). Установлено, что, если в базовой быстрорежущей стали частично заменить карбид титана на одну из наиболее устойчивых при резании фаз – окись алюминия, то достигается уменьшение адгезионного составляющего коэффициента трения (рис. 1), что ведет к соответствующему увеличению износостойкости инструмента при резании (рис. 2). Наличие Al_2O_3 уменьшает коэффициент трения, что имеет значение не только для увеличения износостойкости, но также и для уменьшения температуры на поверхности инструмента. Это важно для

материалов анализируемого класса, которые имеют ограниченную теплоустойчивость. Можно расширить область применения этих материалов, повышая диапазон возможных скоростей резания. Порошковые сплавы на основе окисей известны, но они нуждаются в оптимизации относительно требуемых механических и технологических свойств материалов. Здесь мы не наблюдали изменений в химическом составе вторичных структур, когда добавляли Al_2O_3 .

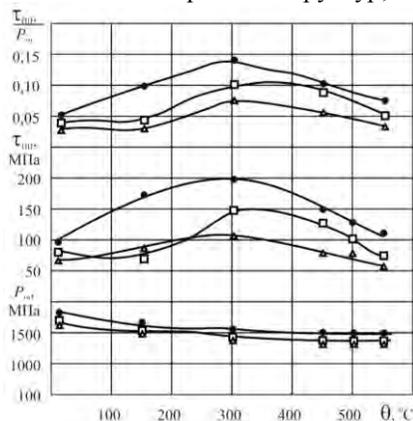


Рисунок 1 – Зависимость трибологических параметров исследуемых материалов пар трения от рабочей температуры: ● – СПИМ + 20% TiC; □ – СПИМ + 15% TiC + 5% Al_2O_3 ; Δ – СПИМ + 20% TiCN

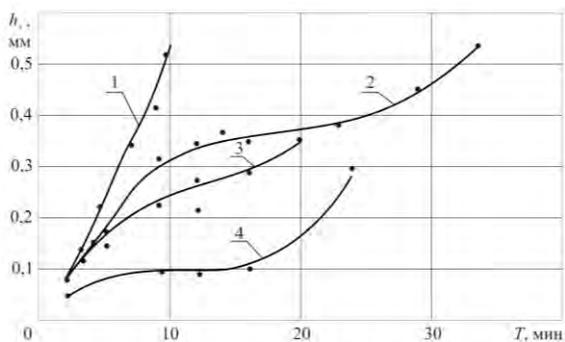


Рисунок 2 – Влияние времени обработки на износ режущего инструмента по задней поверхности: 1 – СПИМ + 20% TiC; 2 – СПИМ + 20% TiC + 2% BN; 3 – СПИМ + 15% TiC + 5% Al_2O_3 ; 4 – СПИМ + 20% TiCN

В данной статье рассматриваются такие подходы к легированию, которые позволяют воздействовать на условия трения, главным образом, путем упрочнения вторичных фаз на поверхности. Как упоминалось выше, это приводит к увеличению коэффициента упрочнения материалов (K_h) и интервала

самоорганизации, в результате чего увеличивается износостойкость инструмента. Легирование осуществлялось не традиционным добавлением того или иного элемента, так как это может вызвать нежелательное изменение в свойствах объема материалов. Мы использовали другой подход, добавив соединения с нужной плотностью, относительно неустойчивые при рабочих температурах.

Это позволило нам использовать соединения в относительно небольших количествах (массой до 2%) с минимально возможным воздействием на качество объема. Твердая смазка BN (шестигранная) была выбрана в качестве такого соединения для дополнительного легирования [4]. При этом принималась во внимание высокая вероятность образования при резании кислородосодержащих вторичных фаз.

Можно предположить следующий физический механизм этих процессов. В зоне контакта «инструмент-деталь» появляются градиенты температуры и напряжения, локализованные в слоях ниже поверхности. При пластической деформации высокой степени и температурах, достигающих 650°C, возникают различные процессы, которые изменяют химические и фазовые составы СПИМ в этих микрообъемах. К их числу относятся: поглощение кислорода, разложение карбидов из титана и бора, а также нитридов, которые являются неустойчивыми при такой температуре, хемосорбцию кислорода, диффузию освобожденных С и N из инструмента в стружку.

Спектрометрия массы и EELFS данные показывали, что на поверхности инструментов из порошковых материалов, включая материал с добавлением BN, появляются вторичные структуры, возникающие в виде простых и сложных кислородосодержащих фаз, имеющих аморфную структуру. Легирование с добавлением BN способствует возникновению сложных соединений $(TiB)_xO_y$ – типа, которые появляются на поверхности инструмента наряду с более простыми соединениями TiO – типа. Аморфизация вторичных структур зависит от состава СПИМ и усиливается при сплавлении с BN. Можно видеть, что износостойкость такого материала увеличивается в 1,8 раза по сравнению с СПИМ базового состава с 20% TiC (сравните 1 и 2 на рис. 2).

Это свидетельствует о том, что легирование может повысить устойчивость вторичных структур, появляющихся во время трения при резании. Это объясняется наличием соединений BO-типа с высокой химической устойчивостью, значительно превышающей устойчивость основной фазы TiO (см. табл. 1), что имеет большое значение для износостойкости инструмента. Соединение типа $TiBO$, по-видимому, действует таким же образом. Толщина слоя устойчивых вторичных структур маленькая и не превышает 0,1 – 0,15 мкм.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что целесообразно осуществлять дополнительное легирование СПИМ с помощью следующих 2-х способов воздействия на трение и износ инструментов, изготовленных из самоорганизующихся материалов.

Первый – это легирование с помощью соединения, которое позволяет достичь значительного снижения уровня самоорганизации (УС) в результате уменьшения коэффициента трения при рабочих температурах. Материалы такого класса имеют высокую износостойкость. Однако количество фазы следует оптимизировать относительно всего комплекса функциональных, механических и технологических свойств.

Второй способ – это легирование, которое дает возможность расширять интервал самоорганизации (ИС). Это достигается путем использования соединений, которые вызывают преобразования состава вторичных структур и повышение коэффициента упрочнения K_h . В этом случае необходимо оптимизировать состав материала относительно целого ряда свойств.

Дополнительное легирование нитридом бора дает возможность осуществлять воздействие на трение не только за счет возникших более устойчивых вторичных структур, но и за счет изменений в природе трения. Это находит свое выражение в переходе от вторичных структур второго типа (оксиподобная фаза стехиометрического состава), возникающих в трудных условиях при резании быстрорежущей стали к аморфно - подобным вторичным структурам первого типа [4]. Это сопровождается переходом к трению с меньшим усилием и тепловой нагрузкой, что подтверждается изменением в износостойкости и графиком кривой износа (рис. 3). Присадка BN к СПИМ повышает эффект аморфизации (рис. б, в и в), т.е. это способствует более полной самоорганизации инструмента. Воздействие на трение тяжело нагруженных режущих инструментов осуществляется в особых условиях.

Воздействие на трение для режущих инструментов из СПИМ с присадкой нитрида бора проявляется не только образованием более устойчивых вторичных структур, но также в изменениях характера трения. Установлено, что, когда резание выполняется инструментом из обычной быстрорежущей стали, на поверхности образуются вторичные структуры второго типа. При резании быстрорежущей стали с добавлением карбидов или карбонитридов образуются аморфноподобные структуры первого типа. Дополнительное сплавление BN усиливает эффект аморфизации, что ведет к более полной самоорганизации инструмента. Это сопровождается переходом к трению с меньшим усилием и нагреванием, что приводит к уменьшению износа и изменению формы кривой износа. Такой тип воздействия на трение в инструментах с высокой нагрузкой осуществляется при соблюдении определенных условий. Каждый из данных методов легирования позволяет достичь значительного повышения износостойкости материалов.

Одновременное применение обоих методов легирования рассматривается как особенно перспективное. Оно дает возможность достичь максимально-

го воздействия на трение при резании и достичь наилучших результатов. Это подтверждается результатами, полученными в результате исследования износа инструментов, изготовленных из СПИМ на основе быстрорежущей стали с карбонитридами. Следует упомянуть, что рассматриваемые материалы имеют преимущество в износостойкости не только над обычной быстрорежущей сталью, но также над более дорогими спеченными карбидами (при скорости резания до 100 м/мин) [4]. Причиной является самоорганизация при трении в условиях резания с инструментом из СПИМ. Поэтому дополнительная интенсификация этого явления повышает эффективность таких материалов.

Выводы

Предлагается новая физическая концепция явления самоорганизации в мультифазовых материалах. Были рассмотрены некоторые подходы к воздействию на трение и износ для порошковых инструментальных материалов нового поколения (СПИМ на основе быстрорежущей стали). Первый способ – это снижение уровня самоорганизации. Это может осуществляться добавлением 5% Al_2O_3 , что снижает коэффициент трения при рабочих температурах. Второй способ – это расширение интервала самоорганизации с помощью устойчивых высокопрочных вторичных структур, развивающихся на поверхности инструмента. Это осуществляется добавлением 2% BN . Оба подхода можно реализовывать с помощью присадки 20% $TiCN$.

Список использованных источников: 1. *G.S. Fox-Rabinovich and other.* Characteristic features of alloying HSS – based deformed compound powder materials with consideration for tool self – organization at cutting. / *Wear.* 206. 1997y. – p. 214. 2. *Бершадский Л.И.* Самоорганизация и надежность трибосистем. Киев: Знание, 1981. – 35 с. 3. *Польцер Г., Эбиленг В., Фирковский А.* Внешнее трение твердых тел, диссипативные структуры и самоорганизация // *Трение и износ.* 1988. Т.9, №1. – С. 12. 4. *Шустер Л.Ш., Крюони Н.К., Шолом В.Ю., Мигранов М.Ш.* Покрyтия и смазка в высокотемпературных подвижных сопряжениях и металлообработке. – М.: Машиностроение, 2008.- 318 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012