

**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ  
ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ**

ТабакOV В.П., Смирнов М.Ю.,  
Циркин А.В., Порохин С.С.  
*Ульяновский государственный  
технический университет,  
Ульяновск*

Повышение работоспособности режущего инструмента (РИ), работающего в условиях прерывистого резания, в частности при торцовом фрезеровании, является актуальной задачей механической обработки. При этом использование традиционных износостойких покрытий (ИП), которые эффективны при других видах обработки резанием, в случае прерывистого резания оказывается малоэффективным, что связано со специфическими условиями износа и разрушения режущих частей фрез.

Известно, что разрушение РИ в условиях прерывистого резания начинается с образования продольных трещин на середине площадки контакта на передней поверхности, которые растут в сторону режущей кромки и в дальнейшем выходят на заднюю поверхность РИ [1, 2]. При этом различают два типа трещин: трещины первого типа возникают в инструментальной основе и растут как вглубь основы, так и через ИП на поверхность РИ, трещины второго типа возникают на поверхности ИП и растут вглубь инструментальной основы. Одновременно с этим происходит увеличение размеров лунки износа по передней поверхности и площадки износа на задней поверхности РИ. Основной причиной возникновения трещин на передней поверхности являются переменные тепловые нагрузки, связанные с чередованием рабочего и холостого ходов РИ [1].

Существующие конструкции однослойных ИП плохо сопротивляются развитию процессов трещинообразования и, соответственно, повышение работоспособности РИ с такими ИП при фрезеровании незначительно по сравнению с РИ без ИП. Применение в этих условиях многослойных покрытий (МП) более эффективно, так как интенсивность роста трещин снижается за счет торможения их на границах слоев МП. Тем не менее, эффективность МП можно существенно повысить путем совершенствования их конструкции с учетом исследования механизма роста трещин в режущем клине.

С точки зрения повышения трещиностойкости МП должно включать слои, обладающие следующими свойствами: высокими остаточными напряжениями сжатия, содержащими легирующие элементы, имеющие микрослоистую структуру. Из теории разрушения твердых тел известно, что эффективность торможения трещин зависит не только от механических свойств слоев многослойной композиции, но и от их взаимного расположения. При этом в случае движения трещины из твердого в более мягкий материал максимальные напряжения возникают вдоль поверхности раздела слоев и могут быть на порядок выше наибольшего главного напряжения впереди трещины, что может привести к разрушению МП по границе слоев или границе с инструментальной основой. Следовательно, при создании МП важно учитывать не только

физико-механические свойства слоев, но и их взаимное расположение.

Для выбора конструкции МП предложена физическая модель напряженного состояния на границах многослойной композиции при движении через них трещин, полученная с учетом механизма разрушения покрытия при прерывистом резании и положений теории разрушения твердых тел [3]. Согласно данной модели МП должно иметь верхний и нижний слои меньшей твердости по сравнению с более твердым промежуточным слоем. Нарушение последовательности расположения слоев в покрытии с точки зрения их твердости ведет к росту разрушающих напряжений на его границах.

На основе анализа физической модели были предложены принцип формирования и конструкции МП, обладающие повышенной трещиностойкостью. Конструкция МП включает в себя дополнительный слой нитрида титана-циркония  $\text{TiZrN}$ , обладающий высокой трещиностойкостью и предназначенный для торможения трещин, образующихся в покрытии в процессе резания. Введение такого слоя увеличивает число границ МП, что также способствует повышению его трещиностойкости. Кроме того, для увеличения трещиностойкости МП предпочтительно использовать слои  $\text{TiZrN}$ , осажденные с применением раздельных катодов и обладающие микрослоистой структурой, способствующей наибольшему торможению трещин. Для верхнего и нижнего слоев МП целесообразно использовать соответственно покрытия  $\text{TiN}$  и  $\text{TiCN}$ , которые, согласно работе [2], отвечают требованиям, предъявляемым к МП, работающим в условиях прерывистого резания. Отсюда следует, что МП повышенной трещиностойкости должны иметь следующую конструкцию:  $\text{TiCN-TiZrN-TiN}$ .

На этой основе предложена конструкция МП с повышенными прочностными свойствами  $\text{TiCN}^{15\%}\text{-TiZrN-TiN}_{\text{КТР}}$ . Повышение прочности адгезионной связи на границе данного МП с инструментальной основой обеспечивается за счет использования слоя  $\text{TiCN}^{15\%}$ , полученного при содержании ацетилена в газовой среде 15 % [4]. Более низкая микротвердость и меньший коэффициент отслоения данного слоя будут способствовать уменьшению разрушающих напряжений и повышению прочности сцепления МП с инструментальной основой. Повышение прочности адгезионной связи на границе верхнего и промежуточного слоев МП обеспечивается за счет нанесения слоя  $\text{TiN}_{\text{КТР}}$ , полученного при низкой температуре конденсации [4]. Высокая твердость данного слоя  $\text{TiN}_{\text{КТР}}$  уменьшает перепад напряжений на данной границе и способствует повышению прочности сцепления верхнего и промежуточного слоев.

Проведенные исследования механических свойств МП и динамики трещинообразования показали, что разработанные МП имеют более высокую прочность сцепления с инструментальной основой и трещиностойкость по сравнению с двухслойным покрытием  $\text{TiCN-TiN}$  [2]. Благодаря своим более высоким механическим свойствам предлагаемые МП снижают интенсивность процессов образования и развития трещин, увеличивая количество циклов работы РИ до образования всех типов трещин и разрушения

покрытия по сравнению с двухслойным МП TiCN-TiN в 1,5 раза и более.

Применение разработанных МП позволяет повысить период стойкости РИ по сравнению с однослойным покрытием TiN и двухслойным покрытием TiCN-TiN в 1,5 – 4,8 раза в зависимости от режимов резания и материала обрабатываемой заготовки. Опытными промышленными испытаниями, проведенными в условиях ОАО «Утес» и ОАО «УКБП» (г. Ульяновск), зафиксировано повышение периода стойкости торцовых фрез с твердосплавными пластинами и концевых твердосплавных фрез при обработке заготовок из различных материалов в 1,5 – 3,5 раза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабалдин Ю.Г. Структура, прочность и износостойкость композиционных инструментальных материалов. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 183 с.
2. Смирнов М.Ю. Повышение работоспособности торцовых фрез путем совершенствования конструкций износостойких покрытий. Дисс.....канд. техн. наук: 05.03.01/ Ульян. госуд. техн. ун-в. – Ульяновск, 2000. – 232 с.
3. Финкель В.М. Физика разрушения. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
4. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 122 с.

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Табаков В.П., Рандин А.В.,  
Циркин А.В., Порохин С.С.  
*Ульяновский государственный  
технический университет,  
Ульяновск*

Повышение эффективности токарного режущего инструмента (РИ) возможно за счет применения износостойких покрытий (ИП). История использования ИП в инструментальном производстве насчитывает несколько десятилетий, в результате чего было создано значительное количество конструкций ИП. Поэтому дальнейшее увеличение их эффективности возможно только за счет проведения широких исследований механизма износа и разрушения ИП, изучения физико-механических и физико-химических процессов, сопровождающих процесс резания инструментом с ИП.

Следует отметить, что в зависимости от инструментального материала РИ (быстрорежущая сталь или твердый сплав) подходы к конструированию ИП могут идти по двум различным направлениям. В случае твердосплавного РИ, работающего в условиях резания, характеризующихся высокой теплосиловой напряженностью, ИП должны обеспечивать высокую трещиностойкость и способность сохранять формуустойчивость режущего клина. При создании ИП для быстрорежущего РИ на первый план выходит требование высокой прочности сцепления ИП с инструментальной основой.

Известно, что разрушение ИП на операциях непрерывного резания (в частности, при токарной обработке) происходит в результате образования в них трещин [1]. На участке пластического контакта трещины имеют относительно большой размер и располагаются вдоль режущей кромки. Природа их образования – упруго-пластические деформации режущего клина РИ в процессе резания. Трещины на участке упругого контакта имеют меньшие размеры и хаотичный характер распространения. Причиной их образования являются касательные напряжения, возникающие при скольжении стружки по передней поверхности, и адгезионно-усталостные процессы. В условиях непрерывного резания ИП должны отвечать следующим требованиям: 1) иметь высокий уровень собственных сжимающих остаточных напряжений для сдерживания процессов образования и развития трещин; 2) способствовать повышению формоустойчивости режущего клина за счет увеличения его запаса пластической прочности; 3) иметь высокую прочность сцепления с инструментальной основой. Первому и второму требованиям отвечают многоэлементные ИП, например, TiZrN, TiZrCN и одноэлементные на основе карбонитрида титана, например, TiCN, третьему условию – одноэлементные нитридные покрытия, например, TiN.

Очевидно, что указанные требования в объеме однослойного покрытия обеспечить невозможно, и они могут быть реализованы только в многослойном покрытии (МП). Такое ИП должно иметь как минимум два слоя: верхний слой должен обеспечить повышение запаса пластической прочности и, следовательно, формоустойчивости режущего клина и снижение интенсивности процессов трещинообразования за счет высокого уровня остаточных сжимающих напряжений, а нижний слой – высокую прочность сцепления с инструментальной основой. В соответствии с предложенным принципом разработаны двухслойные покрытия, имеющие верхний слой из TiZrN и TiCN и нижний слой из TiN: TiN-TiZrN и TiN-TiCN.

Результаты исследований показали, что предложенные МП позволяют повысить период стойкости РИ по сравнению с покрытием TiN в 1,7 – 4,4 раза (в зависимости от конструкции покрытия и режима резания). Опытными промышленными испытаниями, проведенными в производственных условиях ОАО «Автомат-Сервис» (г. Ульяновск) и ОАО «Утес» (г. Ульяновск), зафиксировано повышение периода стойкости токарных резцов, оснащенных твердосплавными неперетачиваемыми пластинами, в 2,8 – 3,7 раза по сравнению с РИ без покрытия и в 1,5 – 2,0 раза по сравнению с РИ с покрытием TiN в зависимости от состава МП, обрабатываемого материала и режима резания.

При создании ИП для быстрорежущих РИ на первое место выходит требование высокой адгезии с инструментальной основой. Повышение прочности адгезионной связи с инструментальной основой можно обеспечить путем нанесения переходного адгезионного слоя (ПАС), расположенного между основным слоем ИП и основой и включающего в себя компоненты инструментальной основы и ИП. Последнее способствует снижению перепада напряжений на их