

качестве основы для разработки баз данных по механическим насосам.

УДК 621.762.4

Карабан А.С.

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: Иващенко С.А.*

Деформации являются результатом наличия внутренних напряжений, которые могут вызываться различными причинами.

К причинам, способствующим возникновению деформаций, относятся напряжения, возникающие в процессе обработки. В свою очередь причинами возникновения напряжения могут служить: неравномерный нагрев, кристаллизационные, структурные изменения металла и т.д.

Напряжения, возникающие при формировании вакуумно-плазменных покрытий, оказывают существенное влияние, как на эксплуатационные характеристики деталей, так и на показатели качества их поверхности. Получение, а в некоторых случаях и эксплуатация износостойких покрытий, неизбежно связаны с возникновением в них остаточных термических напряжений, которые оказывают решающее влияние на прочность покрытия и его сцепление с основой.

При недостаточном сцеплении может произойти отслаивание покрытия; если же прочность сцепления больше отрывного усилия, например, при напылении покрытий с последующим оплавлением, то возникающие напряжения могут привести к деформации детали или к повреждению (растрескиванию) покрытия. Растрескивание и отслаивание покрытия ухудшают его качество и в ряде случаев приводят к браку. Деформация детали приводит к потере геометрической точности.

Снижение уровня остаточных напряжений в покрытии можно обеспечить за счет создания переходных адгезионных слоев (ПАС) между покрытием и основой. Однако наличие в химическом составе ПАС только элемента покрытия не обеспечивает достаточную прочность сцепления покрытия с основой. Нанесение ПАС, химический состав которых близок к материалу, как покрытия, так и основы, позволит дополнительно снизить остаточные напряжения в покрытии, повысить прочность сцепления его с основой.

С целью определения химического состава ПАС, обеспечивающего максимальное снижение остаточных напряжений, были проведены расчеты напряжений в одно-, двух- и трехслойной композициях с ПАС. В качестве ПАС использовали: 1) чистые металлы IV-VI групп периодической системы элементов, применяемые в покрытиях: Ti, Zr, Hf, Cr, Mo, Ta, Nb, V, W, а также чистое железо; 2) твердые растворы титана и тех же металлов (Ti-Me); 3) твердые растворы нитрида титана и нитридов тех же металлов (Ti, Me)N. Результаты расчета показали, что наибольшее снижение остаточных напряжений обеспечивают ПАС, в состав которых входят элементы покрытия и железо (рисунок 1).

Так, для покрытия TiN применение в качестве ПАС чистых титана и железа (Ti-Fe) способствует снижению величины остаточных напряжений в покрытии на 19 %, нитрида (Ti, Fe)N – на 33 %, а их сочетания – на 42 %. Для проверки полученных расчетных данных были проведены экспериментальные исследования структурных параметров и механических свойств износостойких композиций с ПАС. В качестве верхнего слоя износостойких композиций использовали нитрид титана TiN и (Ti, Zr)N; ПАС для покрытия TiN наносили на основе титана и железа (Ti-Fe), сложного нитрида титана и железа (Ti, Fe)N, а также их сочетания; для покрытия (Ti, Zr)N – на основе сочетания чистых титана, циркония, железа (Ti-Zr-Fe) и их нитрида (Ti, Zr, Fe)N.

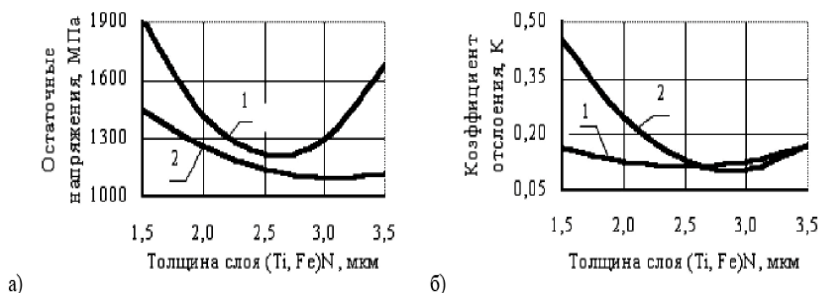


Рисунок 1 – Влияние толщины ПАС(Ti, Fe) на остаточные напряжения (а) и коэффициент отслоения (б): 1 – композиция (Ti, Fe)N+TiN; 2 – композиция (Ti, Fe)+(Ti, Fe)N+TiN

Установлено, что наличие ПАС практически не изменяет периода кристаллической решетки, ширины рентгеновской линии и микротвердости покрытия, однако значительно снижает остаточные напряжения. При этом величина изменения остаточных напряжений определяется составом ПАС и соотношением толщин ПАС и основного покрытия. Так, для композиции на основе покрытия TiN наибольшее снижение остаточных напряжений имело место в случае использования ПАС на основе сочетания мягкого слоя титана и железа и их нитрида и составило 40 %. Наличие ПАС только на основе нитрида титана и железа уменьшает величину остаточных напряжений на 28 %. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными. Как видно из таблицы, снижение остаточных напряжений привело к повышению прочности сцепления покрытий с основой.

При этом, как и в случае с остаточными напряжениями, величина снижения коэффициента отслоения также зависит от соотношения толщин ПАС и основного покрытия. Наибольшая прочность сцепления для композиции с покрытием TiN наблюдалась при использовании ПАС на основе чистых титана и железа и их нитрида (снижение коэффициента отслоения составило 60%). Аналогичные данные получены для композиции с покрытием (Ti, Zr)N. Как видно из таблицы, наличие ПАС (Ti-Zr-Fe) и (Ti, Zr, Fe)N в трехслойной композиции (Ti-Zr-Fe) +

+ (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N привело к снижению величины остаточных напряжений в покрытии на 45 % по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Коэффициент отслоения для трехслойной композиции (Ti-Zr-Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N уменьшился на 84 % по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N, что свидетельствует о более высокой прочности сцепления с быстрорежущей основой по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Так же, как и в случае с износостойкой композицией на основе покрытия TiN, микротвердость композиции (Ti – Zr – Fe) + (Ti, Zr, Fe)N + (Ti, Zr)N практически не изменяется по сравнению с покрытием (Ti, Zr)N. Исследованиями интенсивности изнашивания установлено снижение износа для композиции с ПАС в 1,4..3 раза в зависимости от составов ПАС.

Таким образом, проведенные исследования показали, что создание между покрытием и основой переходного адгезионного слоя, включающего элементы материала как покрытия, так и основы, способствует снижению остаточных напряжений в покрытии и повышению прочности его сцепления с основой, что в конечном итоге приводит к повышению работоспособности быстрорежущего инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышев, Г.Н. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах / Г.Н. Чернышев [и др.]. – М., 1996.
2. Панькин, Н.А. Остаточные напряжения и микротвердость конденсата, полученного вблизи титанового катода при нанесении TiN-покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой / Н.А. Панькин, Н.А. Смоланов // Тезисы докладов XXXV звенигородской конференции по физике плазмы и УТС. – М., 2008. – С. 295.
3. Касаткин, Б.С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений / Б.С. Касаткин [и др.]. – Киев, 1981.