

Промышленность порошковой металлургии, экономика и организация производства

УДК 621.762

А. Л. КАМЕНЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ SiC И SiO₂ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Методом кінцевого плазмового зміцнення ріжучого інструменту нанесено тонкоплівкове покриття на основі SiO₂ та SiC. Показано динаміку зміни структури та властивостей алмазоподібного покриття в залежності від зміни параметрів зміцнення. Встановлено значне збільшення зносу ріжучого інструменту.

Ключові слова: інструмент, зміцнення, покриття, SiO₂, SiC.

Основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку резанием, являются твердые сплавы. Инструментом из этих сплавов срезается до 65% всей стружки, так как скорость резания в 2—3 раза выше, чем принятая для инструментов из быстрорежущих сталей. На современном этапе при использовании сложных автоматических комплексов возрастают требования к качеству и надежности режущих инструментов.

Повысить работоспособность твердосплавного режущего инструмента можно таким изменением поверхностных свойств материала, при котором контактные площадки инструмента будут наиболее эффективно сопротивляться абразивному, адгезионно-усталостному, коррозионно-окислительному и диффузионному изнашиванию как при комнатной, так и при повышенных температурах. Одним из таких способов упрочнения режущего инструмента является нанесение специальных покрытий на инструментальные материалы.

Нами использован метод локальной упрочняющей обработки режущего инструмента из твердого сплава ВК8 — финишное плазменное упрочнение, осуществляемое на гибком технологическом модуле плазменной обработки УПНС-304. Сущность процесса финишного плазменного упрочнения состоит в поверхностном воздействии высокоэнергетической, насыщенной специальными реагентами, движущейся высокоэнергетической струи, которая генерируется при атмосферном давлении малогабаритным плазмотроном. На обрабатываемой поверхности образуется тонкопленочное (1—3 мкм) покрытие. Износостойкое керамическое покрытие на основе SiO₂ и SiC, нанесенное этим методом с использованием двухкомпонентного жидкого препарата СЕТОЛ, является продуктом плазмохимических реакций реагентов, прошедших через дуговой плазмотрон.

При нанесении тонкопленочного покрытия одновременно протекают три процесса [1]: разложение паров органических соединений в разрядной камере

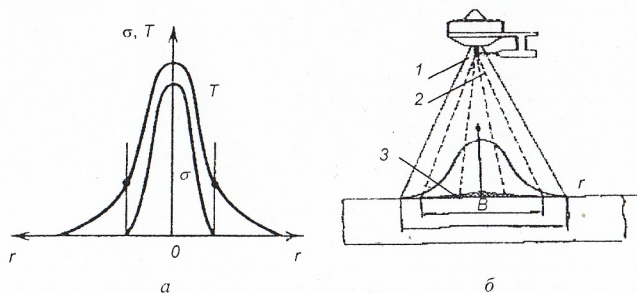


Рис. 1. Распределения температуры и электропроводности в токонесущей области канала (а), а также удельного теплового потока по пятну нагрева (б).

1 — плазменная струя; 2 — поток частиц покрытия; 3 — покрытие; В — ширина слоя покрытия; r — радиус пятна нагрева, см.

плазматрона; транспортировка плазменной струей продуктов разложения к поверхности упрочняемого изделия; плазмохимический синтез тонкой пленки на упрочняемой поверхности.

Метод финишного плазменного упрочнения оксидно-карбидной керамики мало изучен. Структурные особенности износостойких покрытий во многом определяются технологическими параметрами нанесения тонкопленочного покрытия и его составом. В связи с этим важно исследовать структуру и свойства оксидно-карбидной керамики во взаимосвязи с основными технологическими параметрами процесса напыления.

При разработке технологии упрочнения режущего инструмента из твердого сплава ВК8 учитывали специфические особенности плазменного напыления: неоднородное мгновенное распределение температуры и электропроводности по сечению дуги; неравномерное распределение удельного теплового потока по пятну нагрева (он максимален в центре пятна); неравномерное распределение скорости частиц по пятну напыления (наибольшую скорость частицы имеют вблизи среза сопла плазматрона); высокая скорость затвердевания частиц при ударе о подложку (10^{-7} — 10^{-5} с), которая приводит к образованию аморфной фазы в структуре покрытия; чрезвычайно быстрое растекание материала частицы при ударе о подложку, если твердая основа смачи-

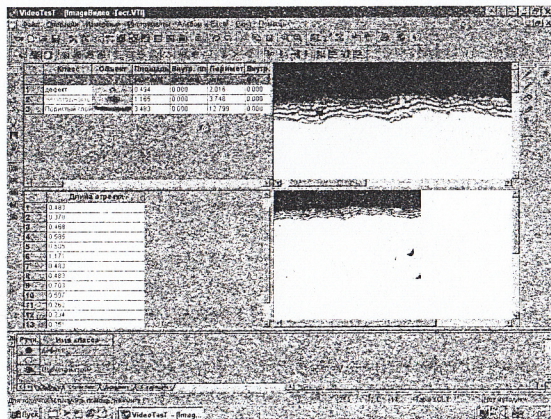


Рис. 2. Система микроанализа “Видео-ТесТ-Мастер”.

вается расплавом; кратковременное (за $(2-5) \cdot 10^{-3}$ с) взаимодействие плазменной струи с поверхностью изделия (рис. 1).

В экспериментах направленно изменяли основные параметры процесса: температуру предварительного нагрева подложки, число циклов-проходов, время воздействия плазменной струи, дистанцию напыления. Оксидно-карбидную керамику наносили при различном сочетании основных параметров: предварительный нагрев подложки до ~ 100 °C ($I=100$ А, $U=20$ В, $t_n=10$ с) при нанесении пленки за один и два цикла; предварительный нагрев подложки до ~ 400 °C ($I=100$ А, $U=80$ В, $t_n=30$ с) при использовании четырех и шести циклов. Во всех экспериментах время воздействия плазменной струи — 0,5; 1; 2 и 2,5 мин. Структурой и свойствами наносимой пленки управляли посредством тепловой энергии плазменной струи. Температуру поверхностного слоя подложки повышали, увеличивая подаваемое напряжение. С целью уменьшения теплопередачи в изделие дистанцию напыления выдерживали равной 20 мм.

Структуру и микроструктуру осаждаемых покрытий исследовали на металлографическом оптическом микроскопе ЕС МЕТАМ РВ-21, стереоскопическом микроскопе МЕТАМ Р-1, сканирующем силовом микроскопе Р4-5РМ. Измерения на изображениях микрообъектов производили с помощью анализатора изображений "Видео-Тест". Результаты измерений накапливали в системе микроанализа "Видео-Тест-Мастер" (рис. 2), обрабатывали в "Microsoft Excel" и оформлялись в программе "Видео-Тест-Альбом".

Микрорентгеноспектральным анализом на растворов электронном микроскопе РЭМ-100У определяли содержание кремния в оксидно-карбидной керамике, нанесенной при многократном воздействии плазменной струи.

Исследуя поверхность оксидно-карбидной пленки, установили, что плазмохимический синтез тонкой пленки на упрочняемой поверхности состоит из осаждения, растекания и затвердевания материала частиц в виде капель различной формы. Вблизи кромки образца формируется пограничный слой, отличающийся от пленки в центральной части образцов.

Изучена структура поверхностного слоя образцов после термической активации до ~ 100 °C и обработки плазменной струей за один и два цикла. Установлено, что при кратковременном воздействии (0,5 и 1 мин) плазменной

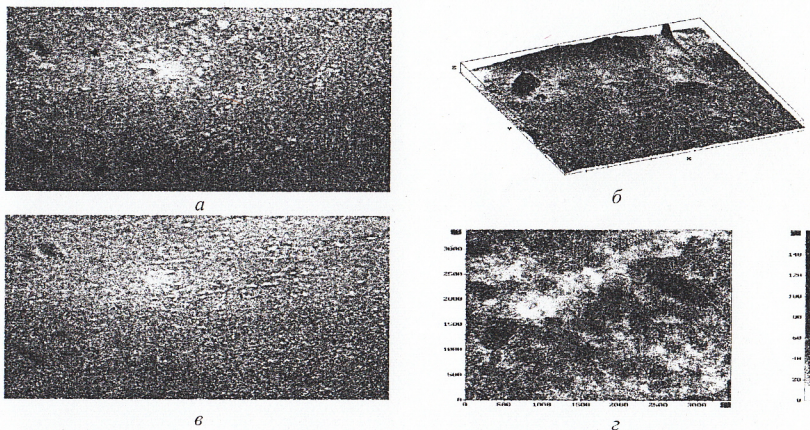


Рис. 3. Оксидно-карбидная пленка, сформированная за 2 цикла и при воздействии плазменной струи в течение 0,5 мин (а, б) и 2 мин (в, г):

Увеличение: 10000 (а, в), 40000 (б), 325000 (г). Диаметр капли $d=3,23-300$ нм, максимальная высота капли $H_{\max}=160$ нм.

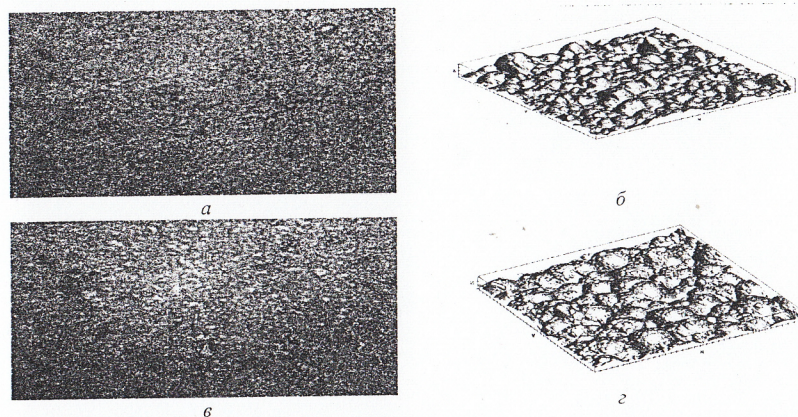


Рис. 4. Оксидно-карбидная пленка, сформированная за 4 цикла (а, б), 6 циклов (в, з) и воздействия плазменной струи в течение 1 мин.

Увеличение: 10000 (а, в), 70000 (б) и 80000 (з). $d_{\max}/H_{\max}=666,6/0,5$ (б) и $800,0/0,4$ нм/мкм (з).

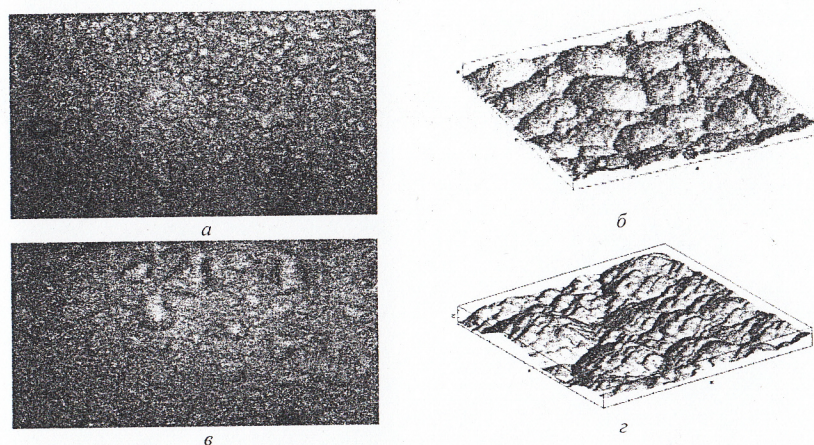


Рис. 5. Оксидно-карбидная пленка, сформированная за 4 цикла (а, б), 6 циклов (в, з) и воздействия плазменной струи в течение 2,5 мин.

Увеличение: 10000 (а), 80000 (б—з). $d_{\max}/H_{\max}=1200/0,14$ (б) и $1307/0,11$ нм/мкм (з).

струи на поверхности образца после схождения пленки остаются только очаги схватывания. При увеличении времени до 2 и 2,5 мин кроме очагов схватывания формируется слой разрозненных мельчайших частиц (рис. 3).

Образование пленки укладкой множества деформирующихся частиц, отличающихся температурой, размером, скоростью, массой, не способствовало формированию плотной равномерной пленки. Термическая активация поверхности до ~ 400 °С, многократное, но кратковременное воздействие плазменной струи (0,5 и 1 мин) не исключает распада жидкой капли на более мелкие при ударе о твердую основу (рис. 4, а, б) или приводит к застыванию материала капли раньше, чем она достигает предельных размеров (рис. 4, в, з).

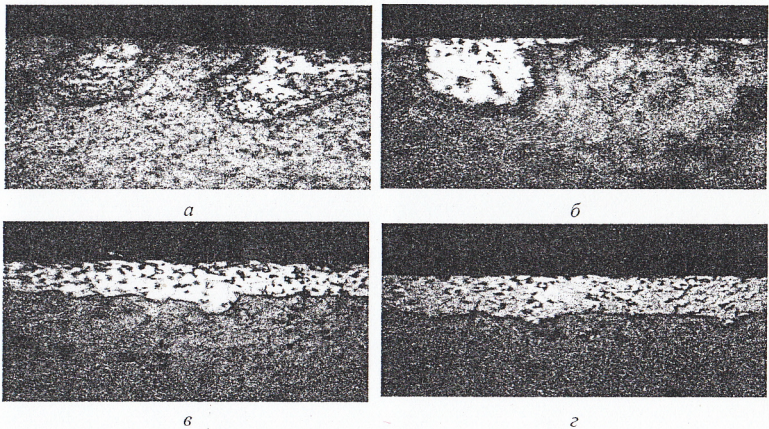
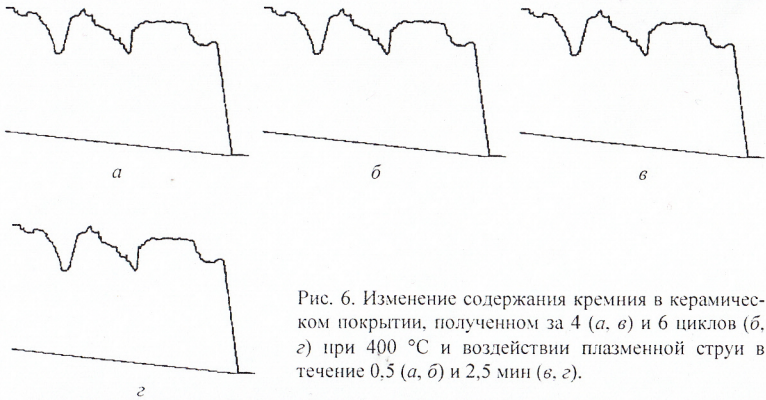


Рис. 7. Пограничный слой пленки, полученной за 1 (а), 2 (б), 4 (в) и 6 циклов (г). $\times 10000$.

Максимальная толщина слоя — 41,82 (а), 29,09 (б), 16,15 (в) и 20,74 мкм (г).

Продолжительное воздействие плазменной струи (2 и 2,5 мин) при осаждении пленок за четыре и шесть циклов способствует увеличению и достижению температуры в межфазной зоне контактной; смачиванию поверхности и появлению сил поверхностного натяжения; стабильному радиальному растеканию капли на твердой основе до приобретения формы плоского диска; прочному закреплению капли на матрице (рис. 5).

По данным микрорентгеноспектрального анализа, с увеличением времени воздействия плазменной струи колебания концентрации кремния в соединениях

Рис. 8. “Залечивание” поверхностных дефектов твердосплавной матрицы при нанесении пленки за шесть циклов-проходов $\times 10000$.



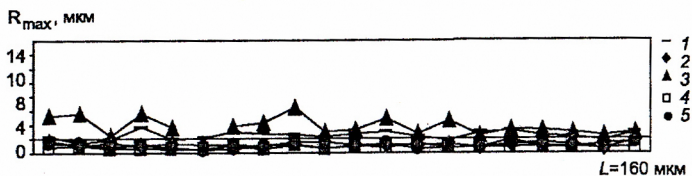


Рис. 9. Изменение параметра шероховатости на базовой длине L поверхностного слоя образца из твердого сплава ВК8, упрочненного оксидно-карбидной керамикой за четыре цикла-прохода.

1 — образец без пленки, 2—5 — после обработки в течение 2; 0,5; 2,5 и 1 мин.

на поверхности пленки значительно уменьшаются. В направлении от центральной части образца к его кромке содержание Si уменьшается от 16 до 11,5% при 4 циклах нанесения и увеличивается от 20 до 25,8% — при 6 циклах (рис. 6). Многократное воздействие плазменной струи приводит к увеличению диаметра пятна нагрева и снижению градиента температур поверхностного слоя (рис. 7). Пограничный слой пленки в виде единичных пористых каплевидных тел свидетельствует о сохранении значительных градиентов температур в поверхностном слое пленки, нанесенной за один и два цикла-прохода.

Многократное и продолжительное воздействие плазменной струи исключает значительные градиенты температур поверхностного слоя и способствует формированию пограничного слоя, равномерно распределенного вдоль кромки образца. Установлено, что пленка улучшает морфологию поверхности: она способна исправлять и “залечивать” дефекты (рис. 8).

Пленка, нанесенная с малой скоростью при большом числе циклов, не только не ухудшает качества поверхности, но даже улучшает его — стабилизируется значение R_{max} (рис. 9). Колебания параметра R_{max} исходной поверхности соответствовали 0,69—2,23 мкм. Увеличение времени упрочнения твердосплавной матрицы и “залечивание” дефектов поверхностного слоя позволило значительно уменьшить шероховатость поверхности (0,182—0,270 мкм).

Принимая во внимание следующие факторы: смачивание упрочняемой поверхности и появление сил поверхностного натяжения, исключение распада жидкой частицы при ударе о твердую основу, увеличение адгезионных сил сцепления пленки с подложкой; стабильное радиальное растекание жидкой частицы до формы плоского диска; равномерное распределение кремния в соединениях на поверхности пленки; “залечивание” дефектов поверхности и уменьшение шероховатости поверхности — финишное плазменное упрочнение рекомендовали проводить при следующих режимах: температура нагрева — 400 °С; число циклов-проходов — 4, 6; время нанесения — 2,5 мин.

Промышленные испытания плазменных покрытий на основе кремнийорганических соединений проводили на предприятиях Западно-Уральского региона. В ОАО “Уралкалий” испытывали резцы Д 6.22 (вставки из твердого сплава ВК8) для комбайнового комплекса “Урал-20А”, на которые было нанесено тонкопленочное керамическое покрытие. Установлено, что при использовании первой партии упрочненных резцов было нарублено 38000 т руды по пласту “Красный II” (наработка на упрочненный резец составила 190 т при норме 100 т), при использовании второй партии — 30000 т руды (наработка 280 т при норме 100 т). Испытания в НПО “Искра” отрезных резцов с пластинками из твердого сплава Т15К6, на которые нанесено покрытие, показало, что стойкость инструмента повышается в 1,4 раза.

Таким образом, разработаны технологические режимы нанесения тонкопленочного покрытия на основе диоксида и карбида кремния, позволяющие

уменьшить значительные градиенты температур поверхностного слоя, максимально снизить склонность режущего инструмента к схватыванию, использовать преимущества алмазоподобного покрытия и значительно уменьшить стоимость процесса упрочнения по сравнению с известными способами. Установлено, что покрытие, нанесенное по оптимальному режиму, изменяет морфологию поверхности, исправляя и "залечивая" дефекты поверхностного слоя.

Методом финишного плазменного упрочнения на режущий инструмент нанесено износостойкое тонкопленочное покрытие на основе SiO₂ и SiC. Показана динамика изменения структуры и свойств алмазоподобного покрытия в зависимости от изменения параметров упрочнения. Установлено значительное уменьшение износа режущего инструмента.

Ключевые слова: инструмент, упрочнение, покрытие, SiO₂, SiC.

A wear-resistant thin-film coating on the basis of SiO₂ and SiC was obtained with the use of the method of finishing plasma strengthening. The dynamics of the change in the structure and properties of the coating was studied depending on the strengthening parameters. A marked decrease in the wear diamond-like of the cutting tool was achieved.

Keywords: instrument, strengthening, coating

1. Соснин Н. А., Тополянский П. А. Плазменные покрытия // Технология и оборудование. — СПб., 1992. — С. 25.
2. Кудинов В. В. Плазменные покрытия. — М.: Наука, 1977. — 184 с.
3. Кудинов В. В., Пекиев П. Ю., Белащенко В. Е. Нанесение покрытий плазмой. — М.: Наука, 1990. — 408 с.
4. Сапожников С. З. и др. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. для вузов. — СПб.: Гос. техн. ун-т, 1999. — 319 с.

Пермский государственный технический университет,
Березниковский филиал, Россия

Поступила 16.04.02