

ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА Т15К6

Е.А. Крутилина¹⁾, В.И. Шиманский¹⁾, В.М. Асташинский²⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,

пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, soldatenko@tut.by

²⁾Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,
ул. П. Бровки 15, Минск 220072, Беларусь

Изучено структурно-фазовое состояние поверхностного слоя твердого сплава Т15К6, легированного медью в результате воздействия компрессионных плазменных потоков (3.5-4.5 кВ; 8 см; 400 Па (N₂); 5 импульсов; 100 мкс). Установлено, что плазменная обработка приводит к плавлению и перемешиванию поверхностных слоев системы медное покрытие – твердый сплав с последующим формированием при скоростном охлаждении дисперсного (0.2–0.3 мкм) слоя толщиной до 6 мкм с однородным распределением элементов по поверхности и глубине. Концентрация меди в модифицированном слое составляет 9-15 ат.% в зависимости от режима плазменной обработки, а его фазовый состав соответствует твердым растворам (Ti,W)C и Cu(Ti, W) и карбиду вольфрама W₂C. Сформированный слой эффективнее рассеивает тепло по сравнению с исходным состоянием.

Ключевые слова: твердый сплав; компрессионные плазменные потоки; легирование; твердый раствор, медь.

INFLUENCE OF COPPER ON THE T15K6 HARD ALLOY SURFACE LAYER STRUCTURE

Evgeniya Krutasilina¹⁾, Vitali Shymanski¹⁾, Valyantsin Astashynski²⁾, Anton Kuzmitski²⁾

¹⁾Belarusian State University,

4 Nezavisimosty Ave., 220030 Minsk, Belarus, soldatenko@tut.by

²⁾Institute of Heat and Mass Transfer. A.V. Lykov National Academy of Sciences of Belarus,
15 P. Brovki Str., 220072 Minsk, Belarus

The structure and phase composition of the T15K6 hard alloy surface layer alloyed with copper as a result of the compressive plasma flows action (3.5-4.5 kV; 8 cm; 400 Pa (N₂); 5 pulses; 100 μs) was studied. It was found that plasma treatment leads to melting and mixing of the copper coating – hard alloy system surface layers with a subsequent high speed cooling. As a result, dispersed (0.2-0.3 μm) modified layer is formed. The layer thickness is up to 6 μm. This modified layer is characterized by uniform elements distribution over the surface and depth and copper concentration 9–15 at.%. The phase composition of modified layer corresponds to solid solutions (Ti,W)C and Cu(Ti, W), tungsten carbide W₂C. The temporal distribution of temperature on the studied samples back surface was experimentally investigated. According to the obtained results the copper-alloyed layer achieves the lowest heating temperature over a longer period of time compared to the sample in initial state. It is assumed that the predominant locations of the copper phase are the (Ti,W)C solid solution grain boundaries. It can contribute to more intensive heat dissipation across the thickness of the modified layer compared to the initial sample of the T15K6 hard alloy.

Keywords: hard alloy; compressive plasma flows; alloying; solid solution; copper.

Введение

В настоящее время в разных отраслях промышленности (металлообработка, машиностроение, горнодобывающая промышленность) широко применяются режущие инструменты из твердых сплавов, что обусловлено уникальным набором физико-механических свойств этого композиционного материала. Такие инструменты характеризуются высокой твердо-

стью, прочностью и износостойкостью. Однако в условиях работы при высоких скоростях резания в воздушной атмосфере ввиду низкого коэффициента теплопроводности твердосплавного инструмента происходит интенсивное окисление материала, что приводит к разрушению инструмента даже при незначительных механических нагрузках.

В связи с этим актуальным является поиск путей повышения интенсивности теплоотвода от режущей кромки, что в настоящем исследовании предлагается осуществить путем легирования твердосплавного инструмента атомами меди при плазменном воздействии. Такая обработка позволит увеличить долю вязкой матрицы с повышенной теплопроводностью, что наряду с диспергированием карбидных частиц может привести к увеличению стойкости приповерхностного слоя к абразивному и окислительному износу.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся твердый сплав T15K6 (WC-15TiC-6Co, вес.%) с покрытием из меди толщиной около 2 мкм, нанесенным методом вакуумно-дугового осаждения по технологии КИБ. Образцы обрабатывались 5 импульсами компрессионных плазменных потоков (КПП) с использованием квазистационарного плазменного компрессора типа МПК компактной геометрии. Напряжение на системе конденсаторов – 3.5, 4.0, 4.2 и 4.5 кВ. Расстояние между поверхностью обрабатываемых образцов и срезом электрода разрядного устройства – 8 см. Длительность одного импульса плазменного воздействия – 100 мкс. МПК работал в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откачанная вакуумная камера заполнялась азотом до давления 400 Па.

Исследование фазового состава проводилось на дифрактометре Ultima IV Rigaku в медном излучении в геометрии Брегга-Брентано. Изучение внутренней структуры образцов осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO-1455 VP. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) исследуемых образцов осуществлялся с помощью микроанализатора Röntec, работающего совместно с растровым электронным микроскопом.

Для получения распределения температуры от времени нагрева образцов твердого сплава применялся мультиметр UTB

158С с диапазоном измеряемых температур от -40 до 1000°C. Прибор включает в себя термопару типа К по СТБ ГОСТ Р 8.585 и состоит из двух контактов, предназначенных для измерения температуры объекта с помощью термоэлектрического эффекта с погрешностью в пределе $\pm 4.0\%$ и с частотой тестирования приблизительно 400 Гц. Измерение включало несколько этапов: сначала стальную пластину нагревали в муфельной печи до температуры 700°C, после нагрева ее переносили на поверхность со слабым теплоотводом. Далее на пластине модифицированной поверхностью вниз размещали исследуемый образец, верхнюю поверхность которого приводили в контакт с термопарой мультиметра. Температуру поверхности фиксировали через каждые 5 секунд (на протяжении 2 минут), а затем через каждые 20 секунд (с 2 до 10 минут). Измерения по данной методике проводились для всех исследуемых образцов в одинаковых лабораторных условиях.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным РЭМ и РСМА исследований, плазменное воздействие на твердый сплав T15K6 с медным покрытием в указанных режимах приводит к плавлению и жидкофазному перемешиванию поверхностных слоев изучаемой системы. В результате кристаллизации формируется поверхностный слой с дисперсной структурой (0.2–0.3 мкм), толщина которого увеличивается с ростом напряжения и достигает 6 мкм при напряжении 4.5 кВ.

Данный слой характеризуется однородным распределением элементов (титан, вольфрам, кобальт, медь) по поверхности и глубине, при этом содержание меди в нем изменяется в среднем от 15 до 9 ат.% при увеличении напряжения на системе конденсаторов от 4.0 до 4.5 кВ. На дифрактограмме образца твердого сплава T15K6 с медным покрытием в исходном состоянии наблюдаются дифракционные максимумы, соответствующие карбидам WC и (Ti,W)C,

а также Cu. В результате плазменного воздействия происходит формирование пересыщенного вольфрамом твердого раствора (Ti,W)C, твердого раствора на основе меди Cu(Ti, W) и карбида вольфрама W₂C. Хотя, согласно равновесной диаграмме состояния Cu–W, взаимодействие меди с вольфрамом невозможно ни в твердом, ни в жидком состоянии, однозначно исключать присутствие атомов вольфрама в сформированном твердом растворе на основе меди нельзя, так как при кристаллизации в условиях быстрого охлаждения в результате воздействия КПП вероятным является образование неравновесных фаз.

Согласно временному распределению температуры в исходном образце, ее максимальное значение составляет $(276 \pm 11)^\circ\text{C}$ и достигается через 80 с после начала измерений. Для легированного медью образца температура принимает наибольшее значение $(248 \pm 10)^\circ\text{C}$ через 100 с. Такой результат можно объяснить более интенсивным рассеиванием тепла модифицированным образцом вследствие выделения частиц твердого раствора на основе меди Cu(Ti, W) на границах зерен карбидной фазы (Ti,W)C. Повышение теплоотводящих характеристик данных сплавов может способствовать увеличению износостойкости резцов, изготавливаемых из данного материала для обработки изделий рез-

нием, повышению жаропрочности и сопротивлению различным видам изнашивания, что делает данный метод модификации перспективным для дальнейшего применения в различных отраслях научной и практической деятельности.

Заключение

В результате воздействия компрессионных плазменных потоков на систему медное покрытие – твердый сплав в режимах, обуславливающих плавление и жидкофазное перемешивание поверхностных слоев системы, был сформирован приповерхностный слой толщиной до 6 мкм с дисперсной структурой и однородным распределением элементов по поверхности и глубине, концентрация меди в котором составляет 9-15 ат.% и фазовый состав соответствует пересыщенному вольфрамом твердому раствору (Ti,W)C, твердому раствору на основе меди Cu(Ti, W) и карбиду вольфрама W₂C.

Модифицированный плазменными потоками образец, легированный медью, достигал наименьшей температуры нагрева по сравнению с исходным состоянием за одно и то же время проведения эксперимента, что указывает на улучшение теплоотводящих свойств твердого сплава T15K6, легированного медью.