

Такой способ решения признан эффективным многими разработчиками.

В статье подробно были представлены описанные методы расчета, а также пример расчета ВШ для переработки древесных отходов.

УДК 620.186

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ КАРБИДОСТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

*Климов С. А., асп., Носков Ф. М., д.т.н., доц., Масанский О. А., к.т.н., преп.  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация*

Карбидостали – современные композиционные материалы на основе стали с добавками тугоплавких карбидов типа  $WC$ ,  $TiC$  и др. Карбидостали перспективны для режущих инструментов и деталей, подвергающихся различным видам высокотемпературного износа [1].

Индукционная наплавка позволяет получать карбидостали различных составов с минимальным проплавлением металла – основы. Благодаря этому состав наплавляемой композиции сохраняется после наплавки практически в неизменном виде.

Основной структурной составляющей, обеспечивающей особые свойства карбидосталей, являются разнообразные карбидные фазы. В случае применения в качестве металла – основы быстрорежущей стали, состав карбидных композиций, формирующихся в структуре, становится особенно сложным, т. к. помимо карбидов, внесенных в состав карбидостали, сама быстрорежущая сталь характеризуется наличием ряда карбидов в своей структуре.[2]

Эти обстоятельства вынуждают обратить повышенное внимание к анализу карбидной составляющей наплавленных слоев, что с наибольшей эффективностью может быть обеспечено применением различных металлографических реактивов, предназначенных для выявления тех или иных карбидных фаз.

Из литературных источников известно, что карбидосталь содержит в структуре карбиды цементитного типа  $Fe_3C$ . В составе также присутствуют карбиды типа  $MC$ ,  $M_3C$ ,  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$ , содержащие в себе  $W$ ,  $V$ ,  $Cr$ ,  $Mo$ , представленные в структуре в виде угловатых карбидных включений, эвтектик.

Для выявления карбидов  $WC$  в литературе рекомендуют травление в водном растворе красной кровяной соли и едкого калия. Раствор в горячем виде в течение нескольких минут выделяет в структуре карбиды  $WC$ ,  $M_6C$ . Применение водного раствора едкого натра в течение 5–10 минут помогает выделить карбиды цементитного типа  $Fe_3C$ . При увеличении времени обработки реактивом до 20 минут выявляются карбиды  $M_{23}C_6$ , содержащие в себе хром. Смесь водных растворов плавиковой и азотной кислоты используют широко при травлении различных сплавов. Травление на холодную в течение 20 минут используют для выявления карбидов типа  $MC$ , содержащих ванадий и вольфрам.[3]

Практические эксперименты с указанными составами металлографических реактивов показали их высокую эффективность в выявлении соответствующих карбидных фаз.

Таким образом, в работе показано, что применение специальных травителей для выявления распределения, количества, формы выделений и других характеристик карбидных фаз карбидосталей, полученных индукционной наплавкой, позволяет эффективно исследовать структуру таких материалов, судить о процессах, происходящих как непосредственной при наплавке, так и в процессе твердофазных превращений.

Список использованных источников

1. Гнусов, С. Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама : научное издание / С. Н. Кульков, С. Ф. Гнусов ; отв. ред. Е. Ф. Дударев ; Ин-т прочности и материаловедения СО РАН. – Томск : Издательство научно-технической литературы, 2006. – 239 с.
2. Liu, Y. Precipitation Behaviors of Carbides in High Speed Steel during ESR and Heat Treatment. [Electronic resource] // Liu, Y., Li, J., Liang, W., Gao, J., Qi, Y., Metals 2021, 11, 1781. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/met11111781>. – Date of access: 5.11.2021.
3. Коваленко, В. С. Металлографические реактивы : справочник / В. С. Коваленко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1981. – 121 с.

УДК 533.9.082, 533.922, 533.924, 535.243.2

## ЛАЗЕРНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПЛАВОВ

*Марковская А. В., студ., Ермалицкая К. Ф., доц.  
Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Цветные металлы, такие как медь, алюминий, титан, никель, магний получили широкое распространение в отрасли машиностроения благодаря своим уникальным свойствам: высокой устойчивости к коррозии, лёгкости, прочности и высокой проводимости. В большинстве деталей, используемых в машиностроении, вышеперечисленные металлы входят в состав сплавов. Поэтому важной задачей является знание качественного и количественного состава сплава, используемого на предприятии.

Метод лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии позволяет при минимальной деструкции поверхности (диаметр кратера на поверхности 10–150 мкм, толщина испаряемого слоя – 5 мкм) без предварительной химической или механической подготовки поверхности проводить микроанализ многокомпонентных сплавов[1]. Наиболее эффективно для испарения вещества и возбуждения спектров использовать сдвоенные лазерные импульсы, разделенные микросекундными временными интервалами, первый из которых испаряет вещество, а второй дополнительно возбуждает плазму, при этом достигается значительное увеличение уровня аналитического сигнала без существенного роста деструкции поверхности. В работе была измерена зависимость интенсивности спектральной линии меди на длине волны  $\lambda = 510,592$  нм в спектрах чистой меди, латуни и бронзы от различных времён  $\Delta t$  между сдвоенными лазерными импульсами. Результаты приведены на рисунке 1.