

УДК 621.793.6:669.245

Г. И. Пейчев, А. Б. Милосердов, Н. В. Андрейченко

ГП «Ивченко-Прогресс», г. Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ ЭВТЕКТИК В МИКРОСТРУКТУРЕ ИЗНОСОСТОЙКОГО СПЛАВА ХТН-61

В статье приведены результаты исследования легкоплавких эвтектик в износостойком сплаве ХТН-61, применяемом в двигателестроении для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток турбин, причины их образования и их влияние на технологические процессы.

Ключевые слова: рабочие лопатки, легкоплавкая эвтектика, температура плавления, ликвация, пайка, сварка, разрушение.

Введение

Для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток турбины используется износостойкий материал ХТН-61. Упрочнение полок рабочих лопаток ТВД изд. Д-18Т производится путем наплавки пластин из износостойкого сплава на их контактные торцы. Пайка пластин осуществляется припоем ВПр36. Упрочнение бандажных полок рабочих лопаток турбины вентилятора происходит путем наплавки методом аргонодуговой сварки с присадкой электродов из износостойкого сплава.

В условиях нашего производства пластины и электроды получают методом литья по выплавляемым моделям равноосной кристаллизацией из материала ХТН-61, получаемого от поставщика в виде прутков диаметром 90 см.

Износостойкий материал ХТН-61 – это эвтектический сплав на кобальтовой основе системы Co-NbC с объемной долей карбида в эвтектике до 18 об. % и минимальной температурой плавления 1320–1340 °С. Для упрочнения мягкой и пластичной кобальтовой матрицы и повышения сопротивления окислению и коррозии использовано дополнительное легирование сплава хромом, вольфрамом, алюминием и молибденом. Все эти элементы растворены в матрице или частично внедрены в карбиды ниобия. Таким образом, структура сплава ХТН-61 – это 2-х фазная система – «легированная кобальтовая матрица – частично легированный карбид ниобия». Такая система, при строгом контроле содержания легирующих элементов, обеспечивает служебные характеристики сплава и заявленную температуру плавления.

Обеспечение устойчивого равновесия этой системы в большой степени зависит от содержания углерода и карбидообразующих элементов – ниобия, наиболее активного и определяющего параметры сплава, и хрома, следующего за ним в

ряду активности. При нарушении процентного соотношения этих элементов в составе сплава возникают избыточные легкоплавкие эвтектики, которые существенно снижают температуру плавления сплава в целом (до 1270 °С и ниже).

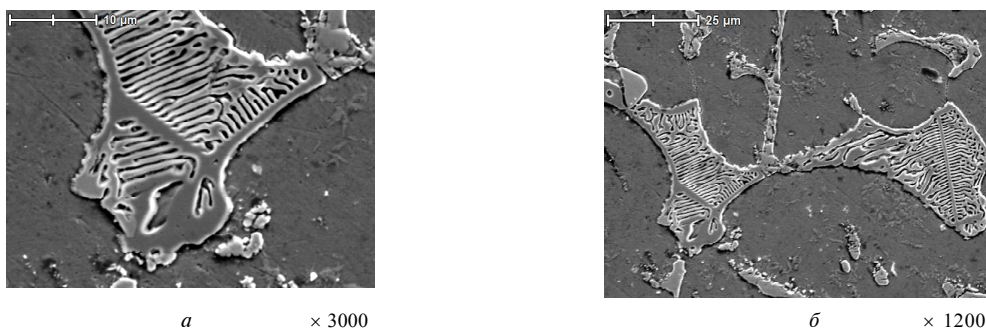
Поскольку эвтектические сплавы расплавляются в очень узком интервале температур, соответствующем температуре плавления эвтектики, то снижение ее температуры плавления может привести к оплавлению самих износостойких пластин, а в худшем случае и оплавлению лопаток, к которым припаиваются эти пластины при проведении операции «пайка».

Проведенные ранее исследования показали, что при завышенном содержании углерода в сплаве образуется эвтектика на основе карбида хрома. Эта эвтектика имеет типичную для эвтектики пластинчатую форму, ее выделения могут носить дискретный характер (рис. 1, а), при этом свойства сплава – износостойкость, температура плавления, изменяются незначительно. В случае, когда этой эвтектики в сплаве большое количество, она принимает форму в виде замкнутых цепей (рис. 1, б), температура плавления сплава резко снижается, при этом падают и износостойкие характеристики сплава.

При металлографическом исследовании описанные выше фазы, как правило, легко выявляются без травления.

Метод дифференциального термического анализа (ДТА) позволяет установить температуру кристаллизации основной кобальтовой эвтектики, т.е. $T_{пл}$ сплава, а также в сплавах, содержащих низкотемпературную фазу, регистрируются эффекты в области температур превращения этих фаз.

Ранее проведенные исследования показали, что температура плавления эвтектики на основе карбида хрома может составлять 1240–1270 °С и ниже.



а × 3000 б × 1200

Рис. 1. Внешний вид эвтектики на основе карбида хрома

Метод ДТА, наряду с химическим анализом, введен в ТУ на поставку сплава ХТН-61 (ТУУ 88.061.001-98) и является обязательным для поставщика.

Причинами появления в условиях нашего производства сплава с эвтектикой могут быть:

- повышенный угар в плавильной печи;
- ошибка в расчете подшихтовки углеродом в условиях использования ~50% возвратных отходов в составе шихты;
- взаимодействие с тиглем.

В связи с отсутствием на нашем предприятии прибора для проведения ДТА, для предотвращения попадания в производство пластин или электродов с легкоплавкой эвтектикой, был введен контроль микроструктуры, создана шкала допустимых структур. Согласно этой шкале структура, в которой наблюдаются дискретные выделения эвтектической фазы в небольшом количестве, не является оптимальной, но допустимой, а микроструктура типа представленной на рис. 1, б – бракуется.

Когда вводился контроль толщины никелированного слоя на пластинах из сплава ХТН-61, идущих на пайку, после травления в реактиве Марбле, в структуре сплава ХТН-61 была выявлена новая «3-я фаза», несколько отличной морфологии, по сравнению с ранее изученной эвтектической фазой на основе карбида хрома.

Зная особенность сплава ХТН-61, когда отклонение в структуре может привести к падению температуры плавления, была поставлена работа, целью которой являлось установление:

- природы и состава новой структурной составляющей;
- зависимости между структурой и температурой плавления.

Формулирование проблемы

В настоящей статье приведены результаты исследования природы и состава легкоплавких эвтектических фаз, и зависимости между структурой и температурой плавления.

Материалы и методика исследования

Микроанализ

В качестве объекта исследования были выб-

раны следующие образцы:

- исходные плавки сплава ХТН61 поставки 2004–2009 гг.;
- литые пластины производства АО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс», которые напаиваются на бандажные полки;
- пластины после никелирования;
- электроды, отлитые из сплава ХТН для наплавки на бандажные полки;
- фрагменты бандажных полок с наплавленным материалом ХТН61 на торцы.

Микроанализ проводился на оптическом микроскопе OLYMPUS IX70. Исследовались шлифы в нетравленном состоянии и после травления в электролите № 18.

Дифференциальный термический анализ (ДТА)

ДТА проводился на установке, аттестованной согласно ГОСТ 8.001-80, в ИМФ НАНУ.

ДТА подвергались следующие образцы:

- исходные сплавы плавки М100 и М190 (углерод на верхнем пределе);
- пластины отливки АО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс» с никелированием и без;
- электрод, в составе микроструктуры которого присутствовала пластинчатая эвтектика на основе карбида хрома.

Из исследуемых материалов изготавливались спецобразцы (диаметр 5 мм, длина 5–7 мм), по габаритным размерам капсулы, в которой происходит расплавление объекта исследования.

Микрорентгеноспектральный анализ (РСМА)

РСМА проводился на шлифах безэталонным методом на энергодисперсионной приставке к электронному микроскопу JSM6360LA в лаборатории металлофизики УГМет АО «Мотор Сич». Съемка проводилась в режиме поэлементного определения химического состава, а также в режиме картирования.

Анализу подвергались образцы:

- исходные сплавы плавки М100 и М190 (С ~2%);
- пластина производства АО «Мотор Сич»;
- электрод с пластинчатой эвтектикой на основе карбида хрома.

Результаты исследования

Микроанализ

При микроанализе кроме основных фаз, характерных для сплава ХТН-61 – кобальтовая матрица + избыточные кристаллы карбида ниобия, имеющие форму ограненных дендритов, – были выявлены два типа фаз:

-1-й тип – фаза выраженной пластинчатой формы, ранее исследованная и означенная как эвтектика на основе карбида хрома. Данная фаза снижает износостойкость, имеет пониженную температуру плавления. Появляется эта фаза при повышенном содержании углерода и хрома в сплаве. Согласно шкале она допустима в очень малых количествах. Фаза видна без травления.

-2-й тип – фаза неправильной формы, без выраженного пластинчатого строения. Без травления практически не видна, после травления выявляется ее контур, внутри которого структура фазы неоднородна. Часто отдельные фазы связаны между собой линиями по типу границ зерен. Эти границы достаточно широки. Данная фаза также проявилась на образцах с содержанием углерода на верхнем пределе.

Микроструктура исследуемых образцов приведена на рис. 2.

При микроанализе были установлены следующие особенности для разных групп образцов.

1. На образцах исходного сплава фаза 1-го типа наблюдалась в отливках с высоким содержанием углерода в достаточно большом количестве и

крупного размера. В плавке М100 она отсутствует. Фаза 2-го типа отсутствует во всех плавках.

2. На пластинах отливки АО «Мотор Сич» выявлена в больших количествах фаза 1-го типа. Выделения ее достаточно большие по площади и в больших количествах регистрируются в поле шлифа. Фаза слабо видна на нетравленном шлифе, при травлении четко очерчиваются ее контуры, проявляются перемиčky между фазами типа широких границ зерен. Отличий в микроструктуре никелированных пластин и без никеля не отмечено.

3. В пластинах отливки ГП «Ивченко-Прогресс» выделения этой фазы очень мелкие и в небольшом количестве проявились при травлении линии типа тонких границ.

4. В наплавленном металле никаких инородных фаз не выявлено.

5. В микроструктуре электродов обнаружено большое количество фазы 2-го типа, четкой пластинчатой морфологии, соединяющих линий типа границ не отмечено. Фаза достаточно выявляется без травления.

Дифференциальный термический анализ (ДТА)

ДТА показал следующие результаты:

1. В исходной плавке М100, в которой не выявлено при микроанализе наличие легкоплавких фаз, эффекты превращений, указывающие на наличие легкоплавких составляющих не проявились, температура кристаллизации кобальтовой эвтектики ($T_{пл}$) соответствует требованиям ТУ

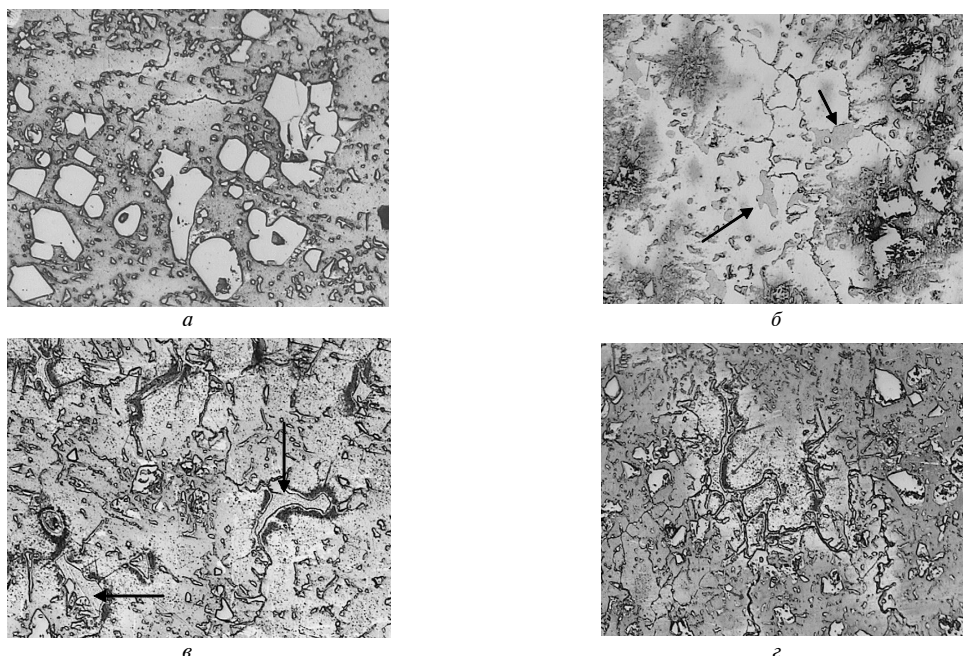


Рис. 2. Микроструктура исследуемых образцов $\times 200$:

a – исходный сплав плавки М100; *б* – исходный сплав плавки М190; *в* – пластина отливки АО «Мотор Сич» до никелирования; *г* – пластина отливки АО «Мотор-Сич» после никелирования

на данный сплав (*T_{пл.}* ~1320 °С).

В плавке М190, содержащей большое количество фазы 1-го типа, выявлены тепловые эффекты при температуре 1240 °С при нагреве и 1180 °С при охлаждении, что подтверждает наличие легкоплавкой эвтектики. При этом и температура плавления сплава в целом оказалась чуть ниже сертификационных требований на данный сплав.

2. В электродах отливки ГП «Ивченко-Прогресс» (имеется большое количество фазы 2-го типа, пластинчатой) отмечены низкотемпературные эффекты при температурах 1270...1290 °С.

3. На пластинах отливки АО «Мотор Сич», в микроструктуре которых отмечено большое количество легкоплавкой фазы, выявлены низкотемпературные эффекты при температурах 1210...1270 °С. Этот факт говорит о том, что при высокотемпературных нагревах в диапазонах этих температур (например, при пайке) возможно расплавление пластин или лопаток в целом.

4. На пластинах отливки ГП «Ивченко-Прогресс» (легкоплавкая фаза практически отсутствует) низкотемпературных эффектов не выявлено.

При проведении термического анализа пластин была замечена следующая особенность. Иногда, при нагреве образцов мы не обнаруживали низкотемпературные эффекты, но они появлялись при охлаждении образца, т. е. после расплавления образца, возможно, образовывались дополнительно легкоплавкие структурные образования.

Эвтектические сплавы расплавляются в очень узком интервале температур, соответствующем температуре плавления эвтектики.

Сплав ХТН-61 является эвтектическим сплавом и для него температура кристаллизации основной эвтектики Co-NbC или вторичной, если она в сплаве присутствует в большом количестве, определяет температуру плавления сплава в целом.

Результаты ДТА показали, что при контроле микроструктуры отливки, в которых выявлены выделения легкоплавких фаз, подлежат забракованию.

Пейчев Г.І., Мілосердов О.Б., Андрейченко Н.В. Дослідження легкоплавких евтектик в мікроструктурі зносостійкого сплава ХТН61

В статті наведені результати дослідження легкоплавких евтектик в зносостійкому сплаві ХТН-61, що використовується в двигунобудуванні для зміцнення бандажних полиць робочих лопаток турбіни, причина їх виникнення та вплив на технологічні процеси.

Ключові слова: *робочі лопатки, легкоплавка евтектика, температура плавлення, ліквіація, пайка, сварка.*

Peuchev G., Miloserdov A., Andreychenko N. Studies of low-melting eutectics in microstructure of antiwear XTH61 alloy

This article describes the results obtained at studies of low-melting eutectics in the antiwear XTH-61 alloy applied to engine-manufacturing industry for strengthening the turbine blade shrouds, the reasons of their formation and effects produced on production processes.

Key words: *blades, low-melting eutectics, melting temperature, liquation, brazing, welding, destruction.*

Структура с выделениями легкоплавких фаз 1-го типа должна быть введена в шкалу для сплава ХТН-61 как не допустимая.

Микрорентгеноспектральный анализ (РСМА)

При РСМА установлено следующее:

- подтверждено, что легкоплавкая фаза 2-го типа является эвтектикой на основе карбида хрома;

- в состав фазы 1-го типа входят хром, молибден и вольфрам, содержание углерода очень низкое. Таким образом, можно предположить, что она формируется не на основе карбида хрома, а является продуктом ликвации и образование ее связано с нарушением технологии литья. Эта фаза не устраняется при термообработке, принятой в производстве для сплава ХТН-61.

Выводы

Проведенные исследования показали, что отклонения в технологии литья, химсоставе сплава ХТН61 приводят к изменению фазового состава, микроструктуры и, как следствие, технологических и эксплуатационных характеристик.

Список литературы

1. Разработка высокотемпературного износостойкого сплава для упрочнения бандажных полок лопаток ГТД / [Шурин А. К., Дмитриева Г. П., Андрейченко Н. В. и др.] // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий. — Запорожье, 1992. — С. 41–42.
2. Чатынян Л. А. Новые износостойкие жаропрочные сплавы для узлов трения / Л. А. Чатынян // Теория трения, износа и проблем стандартизации : сб. статей. — Брянск, 1978. — С. 37–41.
3. Костин П. П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов / Костин П. П. — М. : Машиностроение, 1990. — С. 167–173.

Поступила в редакцию 08.06.2011