

УДК 621.793.6:669.245

Г.И. ПЕЙЧЕВ, В.Е. ЗАМКОВОЙ, Н.В. АНДРЕЙЧЕНКО*Государственное предприятие Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко, Украина*

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖНЫХ ПОЛОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК

В настоящей статье приведена систематизация таких сравнительных характеристик, как: твердость, температура плавления и фазовых превращений, фазовый состав жаропрочных износостойких материалов, используемых в авиационной технике для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток. Приведена базовая характеристика для этих сплавов – износостойкость, а также, для сравнения – износостойкость лопаточного сплава ЖС26-ВИ, направленной кристаллизации и ЖС6У-ВИ – равноосной кристаллизации. Сделана оценка влияния защитного жаростойкого покрытия на износостойкость. Исследованы влияния воздействия температур в диапазоне технологических нагревов на фазовый состав износостойких сплавов и фазовые превращения.

Ключевые слова: *безопасность, надежность, износостойкость, твердость, термостабильность, фазовый состав.*

Введение

Проблеме повышения надежности и долговечности уделяется особое внимание при создании, эксплуатации и ремонте авиационной техники и, в частности, газотурбинных двигателей. Ресурс авиационных двигателей определяется долговечностью наиболее ответственных деталей горячего тракта, таких как рабочие лопатки турбины. Рабочие лопатки работают в условиях действия высоких температур и одним из факторов, ограничивающим их ресурс является повреждение бандажных полок. Контактные поверхности бандажных полок упрочняются жаропрочными износостойкими материалами.

Выбор марки износостойкого материала и способа его нанесения производится индивидуально для каждой лопатки определенного двигателя в зависимости от условий эксплуатации, марки основного материала лопатки и ее конструкции, технологических особенностей изготовления и ремонта, и множества других факторов. Поэтому очень важно знать необходимые индивидуальные характеристики износостойких сплавов, чтобы сделать правильный выбор.

На двигателях разработки Государственного предприятия Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» им. академика А.Г. Ивченко используются три основных износостойких материала:

- на кобальтовой основе – ХТН61 и ВЗК;
- на никелевой основе – ВЖЛ2.

К сожалению информации по износостойким

материалам очень мало, а имеющаяся – разрозненная и без аналитических сравнительных исследований. Также отсутствует информация по фазовому составу, термостабильности фаз в условиях эксплуатационных и технологических температурных интервалов.

1. Формулирование проблемы

В настоящей статье проведена систематизация таких сравнительных характеристик, как: твердость, температура плавления и фазовых превращений, фазовый состав.

2. Материалы и методика исследования

2.1 Определение твердости

«Твердость – это сопротивление, которое оказывает испытываемое тело при внедрении в него другого более твердого тела». Эта формулировка в настоящее время общепризнанна, однако в применении к сопротивлению износу, которое часто отождествляется с твердостью, – не всегда однозначна. Износ – это совокупность очень многих процессов, действующих в различных диапазонах температур, в которых значение твердости не является определяющим и, тем не менее, для грубой оценки износостойкости, как одного из факторов, часто используют твердость, определенную при комнатной и повышенных температурах.

В нашей работе мы определяли твердость каждого сплава при нормальной температуре по Бринелю, по Викерсу и по Роквеллу.

Для определения твердости использовались плоскопараллельные пластины, шлифованные на круге зернистостью 5...10 мкм.

Пластины проходили стандартную термообработку, принятую для каждого сплава на нашем предприятии (табл. 1):

Таблица 1

Параметры стандартной термообработки

Марка материала	Технологические параметры термообработки		
	Температура нагрева, °С	Время нагрева, мин	среда
хтнб1	1265	30	вакуум
в3к	1210	30	вакуум
вжл2	1210	30	вакуум

2.2. Исследование термостабильности фаз при высокотемпературных нагревах

Для исследования были выбраны 3 температуры: 1000 °С, 1100 °С и 1210 °С, выдержка при температуре составляла – 30 мин. Микроанализ проводился на оптическом микроскопе **OLYMPUS IX70** без травления и после травления в реактиве Марбле.

2.3. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА)

Исследование проводилось на растровом микроскопе **JSM-6360LA**, оснащенный системой для проведения рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

Исследовались сплавы ВЖЛ2 и ВЗК после термообработок 1000°С и 1210°С, сплав ХТН61, который не имеет превращений при указанных температурах, исследовался только в закаленном состоянии.

2.4 Термический анализ

Методом дифференциального термического анализа (ДТА) измерялась температура плавления сплавов и температура тепловых эффектов при плавлении, с целью установления температур фазовых превращений в сплавах. ДТА проводился в атмосфере гелия со скоростью нагрева и охлаждения 70град/мин.

3. Результаты исследования

3.1. Твердость

Результаты замера твердости приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты замера твердости

Наименование марки материала	Замеры твердости		
	По Бринелю НВ(10/3000)	По Роквеллу HRC	По Викерсу HV 10/10
ХТН 61	390...480	41...45	420...480
ВЗК	500...514	49...53	505...560
ВЖЛ2	530...500	53...54	600...627
ЖС32		34...38	380 390

Из данных табл. 2 видно, что сплав ХТН61, обладающий наивысшей износостойкостью из всех представленных сплавов, имеет самую низкую твердость, хотя и достаточно высокую, превышающую твердость сплавов для отливки турбинных лопаток.

Для сравнения в табл. 3 приведены данные по износостойкости различных сплавов.

Таблица 3

Данные по износостойкости различных сплавов

Исследуемый материал	Интенсивность изнашивания, $I_v, 10^6 \text{мм}^3/$			
	Температура испытания, °С			
	20	500	900	1000
ХТН61, р.к. оптимальный состав	–	0,28	0,25	0,40
ХТН61 (наличие эвтектики)	–	–	–	0,7
ХТН61, наплавка	0,4 – 1,65	–	–	–
ВЖЛ2, р.к.		1,51	0,944	4,49
ЖС26ви, вснк			0,3455	0,4–0,7
ЖС26-ви +всдп11				1,23
ЖС6у-ви р.к.				1,1898

Из данных табл. 3 видно, что наилучшие характеристики износостойкости, во всем диапазоне рабочих температур, показывает износостойкий сплав ХТН61 оптимального химсостава. Конструкционный литейный сплав ЖС26-ВИ в силу своей высокой прочности также имеет неплохие показатели износостойкости (за что был в свое время рекомендован применяться без упрочнения на лопатках 1 категории). Сплав ВЖЛ2 при температурах выше 900°С, теряет свои прочностные характеристики, начинает «течь» и резко повышается его износ. Поэтому он и был рекомендован для использования в диапазоне температур до 900°С, где он успешно конкурирует со сплавом ХТН61, являясь при этом более дешевым сплавом.

3.2. Исследование термостабильности фаз при высокотемпературных нагревах

Проведенные исследования показали, что сплав ХТН61 термостабилен во всем диапазоне температур от 20 до 1300 °С.

Сплавы ВЖЛ2 и ВЗК в диапазоне действия рабочих температур для лопаток турбины достаточно стабильны. Имеются некоторые тенденции к коагуляции фаз. А при температурах нагрева на уровне технологических ($T = 1210$ °С., температура пайки) в этих сплавах, особенно это выражено в сплаве ВЗК, уже происходят процессы растворения и глобулизации упрочняющих фаз, что может сказаться на прочности и износостойкости сплавов (рис. 1, 2). Поэтому для сплава ВЗК невозможна напайка высокотемпературными припоями, которые рекомендованы для жаропрочных литейных сплавов, т.е его можно наносить только наплавкой, чтобы не испортить основной материал лопаток.

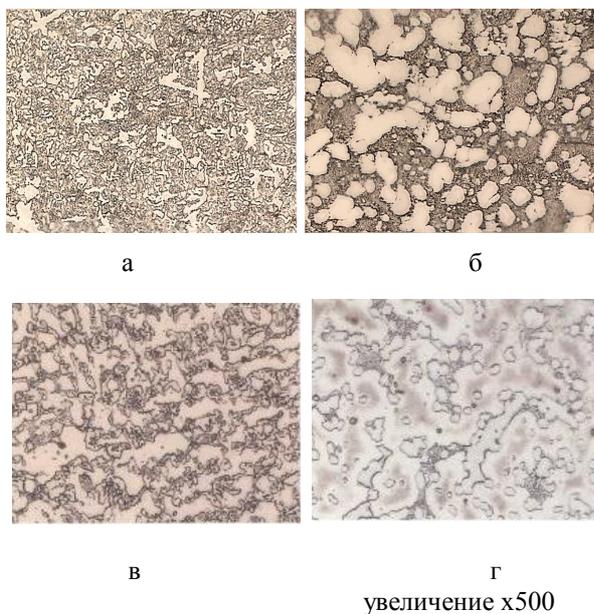


Рис. 1. Микроструктура сплавов:
ВЖЛ2: а – после закалки; б – после закалки и термообработки при $T = 1210$ °С;
ВЗК: в – после закалки; г – после закалки и термообработки при $T = 1210$ °С

3.3. Термический анализ

Проведенный термический анализ показал следующее:

Сплав ХТН61

При соблюдении химического состава в рамках сертификата, в этом сплаве не наблюдается никаких тепловых эффектов до температуры плавления

1320...1340 °С, при завышении содержания углерода и хрома образуются легкоплавкие эвтектики на основе карбида хрома и, как следствие, появляются тепловые эффекты в диапазоне температур 1180...1240 °С, что усложняет напайку такого сплава, а также снижается износостойкость.

Сплав ВЗК

В сплаве наблюдаются два пика на термических кривых. Первые термические эффекты появляются при температуре 1130...1150 °С и соответствуют температуре плавления эвтектики на базе карбидов хрома, вторые эффекты при 1250...1260 °С – плавлению избыточных кристаллов в сплаве $S_{C_{23}C_6}$. Температура плавления этого сплава составляет 1270...1275 °С, что делает невозможным использование напайки этого сплава высокотемпературными припоями, которые рекомендованы для жаропрочных литейных сплавов, таким образом, его можно наносить только наплавкой.

Сплав ВЖЛ2

В этом сплаве низкотемпературные эффекты выявлены при температурах 1170...1210 °С, что указывает на фазовые превращения в этом диапазоне температур. Температура плавления этого сплава составляет 1280 °С.

Исходя из этих данных, для сплава ВЖЛ2 можно использовать припой с температурой плавления не выше 1210...1230 °С.

Заключение

Используя данные по основным характеристикам износостойких сплавов, конструктора могут более точно выбирать способы упрочнения контактных зон, а технологи – назначать параметры технологических операций нанесения этих износостойких материалов.

Литература

1. Разработка высокотемпературного износостойкого сплава для упрочнения бандажных полок лопаток ГТД / А.К. Шурин, Г.П. Дмитриева, Н.В. Андрейченко, Л.И. Ивченко, Т.С. Черепова // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий. – Запорожье, 1992. – С. 41-42.
2. Испытание металлов // Сб. статей под редакцией К. Нитцше. – М.: Машиностроение, 1967. – 451 с.
3. 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.

Поступила в редакцию 18.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ЗРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗНОСОСТІЙКИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ БАНДАЖНИХ ПОЛОК РОБОЧИХ ЛОПАТОК

Г.І. Пейчев, В.Є. Замковой, Н.В. Андійченко

В статті проведена систематизація зрівняльних характеристик, таких як міцність, температура плавлення і фазових перетворень, фазовий склад жароміцних зносостійких матеріалів, які використовуються в авіаційній техніці для зміцнення бандажних полок робочих лопаток. Наведена базова характеристика для цих сплавів – зносостійкість, а також для зрівняння – зносостійкість лопаточного сплаву ЖС26-ВИ, спрямованої кристалізації та ЖС6У-ВИ – равноосної кристалізації. Зроблена оцінка впливу захисного жаростійкого покриття на зносостійкість. Досліджено вплив дії температур технологічних нагрівань на фазовий склад зносостійких сплавів та фазових перетворень.

Ключові слова: безпека, надійність, зносостійкість, міцність, термостабільність, фазовий состав.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF WEAR RESISTANT ALLOYS USED FOR BLADE SHROUD HARDENING

J.I. Peyche, V.E. Zamkovoy, N.V. Andriychenko

This article describes a systematization of such comparative characteristics as hardness, melting and phase transformation temperatures, phase composition of heat- and wear-resistant materials being used in the aircraft engineering for strengthening the blade shroud platforms. The basic characteristic for these alloys is a wear-resistance, and also, for a comparison, wear resistance of a blade ЖС26-ВИ directly solidified alloy and ЖС6У-ВИ alloy featuring an equiaxed solidification. Effect of a protective heat-resistant coating on wear-resistance has been evaluated. Influences of temperature effects on a phase composition of the wear-resistant alloys and phase transformations were researched in the range of process heating.

Key words: safety, reliability, wear resistance, hardness, thermal stability, phase composition.

Пейчев Георгий Иванович – первый заместитель руководителя предприятия, главный инженер ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, Progress @ivchenko-progress. com.

Замковой Василий Евгеньевич – заместитель главного инженера, Главный металлург ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: 77@zmkb.

Андрийченко Наталья Викторовна – инженер 1 категории лаборатории металловедения ОГМет ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: 77@zmkb.