

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140407>

УДК 621.791.923.6:62-135

К 72

COMPARATIVE HIGH-TEMPERATURE WEAR RESISTANCE OF CHS88U-VI ALLOY AND H30N50YU5T2 SATELLITE

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА ЧС88У-ВИ И СТЕЛЛИТА Х30Н50Ю5Т2

Oleksandr M. Kostin

kostin.weld@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4739-660X

Anastasiia Yu. Butenko

Jane_boxx@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7631-7213

Volodymyr O. Martynenko

volodymyr.martynenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-4067-3640

А. М. Костин,

канд. техн. наук, доц.;

А. Ю. Бутенко,

асп.;

В. А. Мартыненко,

канд. техн. наук, доц.

National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Національний університет кораблебудування, г. Николаев

Abstract. The optimal compositions and application techniques of wear-resistant alloys on platforms of turbine blades are discussed. It is demonstrated that the serious problems arise when choosing the necessary alloying materials despite the apparent variety of them. Such a choice is significantly complicated by the lack of quantitative characteristics of wear-resistance of widely used alloying materials and basic heat-resistant alloys. Consequently, the aim of the study was to determine the quantitative comparative characteristics of wear-resistance of the ЧС88У-ВИ casting heat-resistant nickel alloy and the Х30Н50Ю5Т2 stellite at peak temperatures of gas turbine engines exploitation in the conditions most closely resembling the actual ones. It is established that the ЧС88У-ВИ alloy in the conditions of high temperature tests (~ 1150 °C) which are close to the solution temperatures of the γ' -phase demonstrates the considerably higher resistance than the Х30Н50Ю5Т2 stellite.

Keywords: the working blade, the platform, hardening, oxy-acetylene surfacing, hardness, wear-resistance.

Аннотация. Показано, что при кажущемся обилии наплавочных материалов при их выборе возникают серьезные проблемы. В этой связи целью исследований явилось определение количественных сравнительных характеристик износостойкости литейного жаропрочного никелевого сплава ЧС88У-ВИ и стеллита Х30Н50Ю5Т2. Установлено, что стойкость сплава ЧС88У-ВИ при температурах испытаний, близких к температурам растворения γ' -фазы, значительно выше, чем стеллита.

Ключевые слова: рабочая лопатка, бандажная полка, упрочнение, ацетиленокислородная наплавка, твердость, износостойкость.

Анотація. Показано, що при уявній великій кількості наплавочних матеріалів при їх виборі виникають серйозні проблеми. У цьому зв'язку метою досліджень було визначення кількісних порівняльних характеристик зносостійкості ливарного жароміцного нікелевого сплаву ЧС88У-ВИ та стеліту Х30Н50Ю5Т2. Установлено, що стійкість сплаву ЧС88У-ВИ при температурах випробувань, близьких до температури розчинення γ' -фазы, значно вища, ніж стеліту.

Ключові слова: робоча лопатка, бандажна полиця, зміцнення, ацетиленокисневе наплавлення, твердість, зносостійкість.

REFERENCES

- [1] Altukhov A.A., Gavrilov O.V. Primenenie zharostoykogo materiala KBNKhL-2 dlya naplavki detaley gazovykh turbin [Application of KBNKhL-2 heat-resistant material for surfacing of gas turbines details]. *Svarshchik – Welder*, 2004, no. 2, pp. 22–23.
- [2] Kostin A.M., Butenko A.Yu., Kvasnitskiy V.V. Materialy dlya uprochneniya lopatok gazovykh turbin [Materials for hardening of gas turbines blades]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 2014, no. 6–7, issue 733, pp. 136–138.

- [3] Peychev G.I., Zamkovoy V.Ye., Andreychenko N.V. Sravnitelnye kharakteristiki iznosostoykikh splavov dlya uprochneniya bandazhnykh polok rabochikh lopatok gazoturbinykh dvigateley [Comparative characteristics of wear-resistant alloys for hardening of platforms of working blades of gas turbine engines]. *Vestnik dvigatelestroeniya* [Bulletin of Engine Engineering], 2009, no. 2, pp. 123–125.
- [4] Peychev G.I., Shurin A.K., Zamkovoy V.Ye. and others Razrabotka i vnedrenie vysokotemperaturnogo iznosostoykogo splava dlya uprochneniya bandazhnykh polok lopatok GTD [Development and implementation of high temperature wear-resistant alloy for hardening of platforms of the GTE blades]. *Vestnik dvigatelestroeniya* [Bulletin of Engine Engineering], 2009, no. 2, pp. 15–18.
- [5] Som A.I., Ishchenko V.Yu., Malyy A.B. Plazmenno-poroshkovaya naplavka stelliteom fiksatorov trub [Plasma powder surfacing by pipe clamps stellite]. *Svarshchik – Welder*, 2004, no. 2, pp. 18–19.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Серьезной проблемой эксплуатации газотурбинных двигателей на фоне постоянного роста рабочей температуры газовой среды является отсутствие жаро- и износостойкого материала, который в полной мере мог бы обеспечивать износостойкость контактных поверхностей рабочих лопаток газотурбинных двигателей во всем температурном диапазоне их эксплуатации. При этом износостойкость основного материала при пиковых температурных нагрузках остается недостаточно изученной и вызывает у практиков несомненный интерес.

В работе в качестве основного материала рассмотрен литейный жаропрочный никелевый сплав ЧС88У-ВИ. Считается, что данный материал характеризуется недостаточным уровнем эксплуатационных характеристик. В этой связи существует необходимость использовать для упрочнения контактных поверхностей (бандажных полок) рабочих лопаток турбин материалы, которые удовлетворяют критериям эксплуатации двигателей.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На отечественных предприятиях, изготавливающих газотурбинные двигатели, для придания контактным поверхностям рабочих лопаток необходимых свойств, в частности горячей твердости и износостойкости, в настоящее время используют различные составы и способы упрочнения. Например, хорошо известен метод ручной аргонодуговой наплавки литыми прутками стеллита на основе кобальта марки Пр-ВЗК-р, диаметром 2...3 мм. Наплавка стеллита характеризуется высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью [3, 5]. При этом существующая технология имеет ряд серьезных недостатков, основные из них:

– поскольку сплавы типа ЧС88У-ВИ и им подобные принадлежат к плохо свариваемым, при их нагреве электрической дугой могут возникать трещины, которые усугубляются разницей коэффициентов линейного термического расширения основного и наплавляемого металлов;

– для обеспечения заданной твердости наплавку деталей необходимо выполнять минимум в два прохода, что существенно усложняет существующий технологический процесс.

Подобные характеристики обеспечивает наплавочный материал Х30Н50Ю5Т2, однако количественные показатели его высокотемпературной износостойкости при пиковых температурных нагрузках остаются также недостаточно изученными.

В качестве наплавочной композиции используют также никелевый сплав КБНХЛ-2, который обеспечивает высокое качество наплавленного металла без внешних и внутренних дефектов, со стабильной твердостью около 60 HRC по всей площади торца либо бандажной полки рабочей лопатки [1]. Недостатком указанного сплава является его относительно низкая температура плавления (~1080 °С), что при эксплуатационных забросах температуры нередко приводит к оплавлению контактных поверхностей и выходу из строя двигателя в целом.

Проблему повышения жаростойкости и износостойкости бандажных полок рабочих лопаток газотурбинных двигателей решают, в частности, напайкой на контактные поверхности пластин из сплава на кобальтовой основе ХТН-61, эксплуатация которого возможна при температурах до 1100 °С [4]. Однако пайку необходимо выполнять в вакууме, с использованием дорогостоящего оборудования, что не всегда является целесообразно.

Таким образом, у технологов возникают серьезные проблемы при выборе наплавочного материала. Существенно затрудняет этот выбор отсутствие количественных характеристик износостойкости распространенных наплавочных материалов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – определение количественных сравнительных характеристик износостойкости литейного жаропрочного никелевого сплава ЧС88У-ВИ и стеллита Х30Н50Ю5Т2 при пиковых температурах эксплуатации газотурбинных двигателей, в условиях, максимально приближенным к реальным.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исследования износостойкости указанных сплавов выполняли на оригинальной установке, разработанной в Запорожском национальном техническом университете, которая позволяет проводить испытания образцов при сложном динамическом нагружении (режим соударения с последующим проскальзыванием в продольном направлении), с нагревом образцов в среде продуктов сгорания топлива. При этом имеется возможность выполнять физическое моделирование

процессов и осуществлять сравнительную оценку фрикционных пар реальных трибосопряжений в условиях, близких к условиям эксплуатации.

На рис. 1 схематически показан внешний вид опытных образцов из основного металла лопаток и с наплавленным по торцам упрочняющим слоем стеллита X30H50Ю5T2.

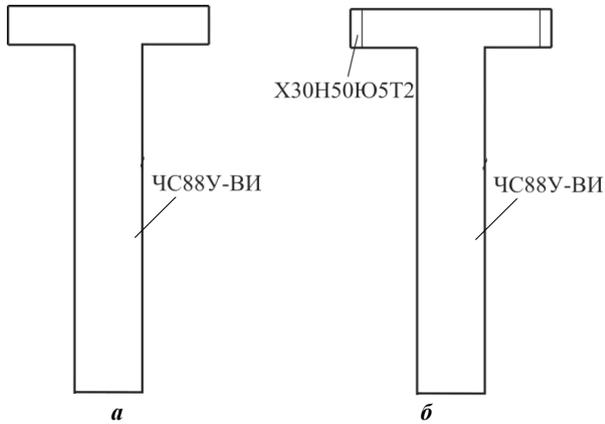


Рис. 1. Схема опытных образцов из сплава ЧС88У-ВИ без нанесения упрочняющего слоя (а) и с наплавленным слоем стеллита X30H50Ю5T2 (б)

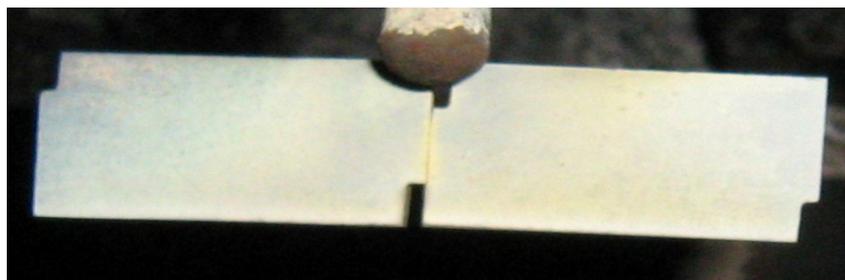
Условия испытаний: температура ~1150 °С, первоначальная нагрузка – 50 МПа, амплитуда взаимного перемещения – 0,169 мм, время испытаний – 2 ч. Влияние температуры на износостойкость образцов оценивали по результатам испытаний в среде продуктов сгорания авиационного керосина марки ТС-1.

На первом этапе эксперимента был испытан основной металл рабочих лопаток – материал ЧС88У-ВИ. Выполнен пробный запуск колебательных движений образцов при комнатной температуре, время соударения составляло 1 мин, при визуальном осмотре износа контактных поверхностей не обнаружено. Перед запуском установки (колебательное движение образцов) температура в зоне контакта опытных образцов 1145 °С, температура газа перед образцами (точка 1) – 1212 °С, над образцами (точка 2) – 1163 °С, за образцами (точка 3) – 1130 °С. Испытание проводилось в течение 2 ч. В табл. 1 приведены замеры температуры по трем точкам на протяжении всего опыта.

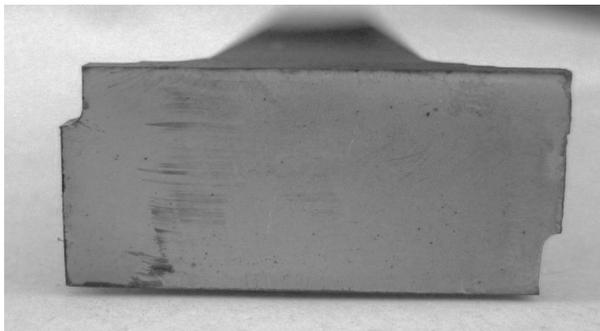
Внешний вид опытных образцов из материала ЧС88У-ВИ и зоны их контакта после проведенных испытаний показаны на рис. 2.

Таблица 1. Замеры температуры газовой среды при испытании опытных образцов в различных зонах нагрева

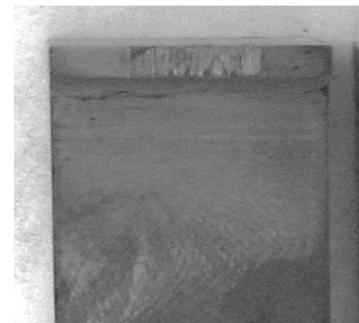
Испытуемый материал	Время испытания, мин	Температура газа, °С		
		Точка 1	Точка 2	Точка 3
ЧС88У-ВИ	30	1234	1217	1120
	60	1259	1161	1046
	90	1280	1193	1070
	120	1291	1248	1229
X30H50Ю5T2	30	1220	1184	1065



а



б



в

Рис. 2. Внешний вид опытных образцов из материала ЧС88У-ВИ (а) и зоны их контакта (б, в) после испытания на износостойкость

На втором этапе проводилось испытание опытных образцов, наплавленных стеллитом Х30Н50Ю5Т2. Выполнен пробный запуск колебательных движений образцов при комнатной температуре, время соударения составляло 1 мин. После этого, на контактных поверхностях, невооруженным глазом выявлены гранулоподобные следы продуктов износа. Перед запуском установки (колебательное движение образцов) температура в зоне контакта опытных образцов составляла 1140 °С, газа перед образцами (точка 1) – 1210 °С, над образцами (точка 2) – 1170 °С, за образцами (точка 3) – 1080 °С. Испытание планировалось проводить, как и предыдущее, в течение 2 ч, одна-

ко спустя 40 мин наблюдался сильный износ контактных поверхностей, вследствие чего испытание было остановлено. Общее время составило 1 ч. В табл. 1 приведены замеры температур в трех зонах на протяжении всего опыта.

Внешний вид опытных образцов с наплавкой стеллитом Х30Н50Ю5Т2 и зоны их контакта после проведения испытаний показаны на рис. 3. На рисунке хорошо видно, что контактные поверхности, наплавленные стеллитом, после 40 мин испытаний не выдерживают данные динамические и температурные нагрузки. В результате выявлено большое количество сколов, трещин, что свидетельствует о разрушении упрочняющего слоя образца.

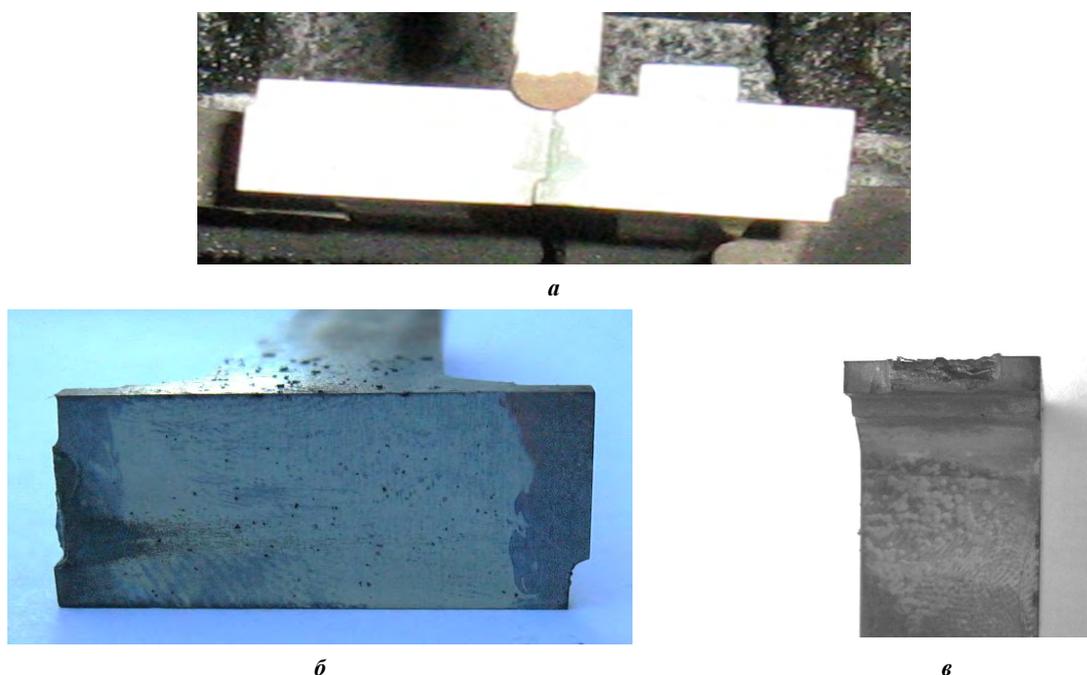


Рис. 3. Внешний вид опытных образцов, наплавленных стеллитом Х30Н50Ю5Т2 (а), и зоны их контакта (б, в) после испытания на износостойкость

Всего в ходе эксперимента испытано по три образца каждого состава. Внешним осмотром значительных отличий в результатах не обнаружено.

Для исключения возможного влияния температуры испытаний на физико-механические свойства исследуемых материалов и последующие результаты оценки износостойкости испытания образцов проводились в контакте только одной исследуемой стороной.

Износостойкость опытных материалов оценивали по интенсивности изнашивания: $J_v = V/N$, где J_v – объемная интенсивность изнашивания, мм³/цикл; V – объем изношенного материала (определяется по профилограмме образцов), мм³; N – количество циклов нагружения (соответствует частоте колебания образцов).

Количественные результаты испытаний высоко-температурной износостойкости приведены в табл. 2.

Таблица 2. Интенсивность изнашивания опытных сплавов

Материал	Температура в зоне контакта, °С	Время испытания, мин	Средняя интенсивность изнашивания $J_v \cdot 10^{-6}$, мм ³ /цикл
ЧС88У-ВИ	~1150	120	2,379
Х30Н50Ю5Т2	~1150	60	10,126

Анализ результатов испытаний показал, что стеллит Х30Н50Ю5Т2 не выдерживает данных динамических и температурных нагрузок. На контактных поверхностях обнаруживается значительное количество окалины, сколов, трещин, задиров, наплывов, что свидетельствует о разрушении упрочняющего слоя наплавки. Сплав ЧС88У-ВИ показывает значительно более высокую стойкость к высокотемпературному износу.

Средняя интенсивность изнашивания сплава ЧС88У-ВИ, на базе испытаний 2 ч, в среднем в 4 раза ниже, чем у стеллита Х30Н50Ю5Т2 на базе испытаний 1 ч.

В реальных условиях работы, кроме запредельных температурных нагрузок, которые составляют минимальный процент от общего времени работы двигателя, имеет также важное значение работоспособность износостойких материалов при температурах запуска (~20 °С) и особенно при рабочих температурах эксплуатации (~900 °С), что требует дальнейших детальных исследований [2].

ВЫВОДЫ

1. При температуре испытаний ~1150 °С, первоначальной нагрузке 50 МПа и амплитуде взаим-

ного перемещения образцов 0,169 мм интенсивность изнашивания $J_v \cdot 10^{-6}$, мм³/цикл для испытываемых материалов характеризуется следующими значениями:

- ЧС88У-ВИ – 2,379 (2 ч испытаний);
- Х30Н50Ю5Т2 – 10,126 (40 мин испытаний).

2. В условиях запредельных температур испытаний (~ 1150 °С), которые близки к температуре растворения γ' -фазы, объемное содержание и морфология упрочняющей дисперсной фазы не играют решающей роли в обеспечении высокой износостойкости упрочняющей композиции. В этом случае значительно более важное влияние оказывают свойства твердорастворной основы сплава.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алтухов, А. А. Применение жаростойкого материала КБНХЛ-2 для наплавки деталей газовых турбин [Текст] / А. А. Алтухов, О. В. Гаврилов // Сварщик. – 2004. – № 2. – С. 22–23.
- [2] Костин, А. М. Материалы для упрочнения лопаток газовых турбин [Текст] / А. М. Костин, А. Ю. Бутенко, В. В. Квасницкий // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7 (733). – С. 136–138.
- [3] Пейчев, Г. И. Сравнительные характеристики износостойких сплавов для упрочнения бандажных полок рабочих лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / Г. И. Пейчев, В. Е. Замковой, Н. В. Андрейченко // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 2. – С. 123–125.
- [4] Разработка и внедрение высокотемпературного износостойкого сплава для упрочнения бандажных полок лопаток ГТД [Текст] / Г. И. Пейчев, А. К. Шурин, В. Е. Замковой [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2009. – № 2. – С. 15–18.
- [5] Сом, А. И. Плазменно-порошковая наплавка стеллитом фиксаторов труб [Текст] / А. И. Сом, В. Ю. Ищенко, А. Б. Малый // Сварщик. – 2004. – № 2. – С. 18–19.

© О. М. Костін, А. Ю. Бутенко, В. О. Мартиненко

Надійшла до редколегії 13.05.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький