

8. Беззубенко, Н. К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов / Н.К. Беззубенко. Дис... докт. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 1996. – 468 с.
9. Сурду, Н.В. Пути повышения эффективности процессов резания труднообрабатываемых материалов [Текст]/Н.В. Сурду, А.А. Тарелин, В.В. Романов, А.Г. Фистик//Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. –№2. – С.9 – 17.
10. Пат. 59078 Україна, МПК (2011.01) B24B 1/00. Спосіб комбінованої обробки матеріалів/А.І. Грабченко, І.М. Пижов, М.Д. Узунян, В.О. Федорович, Р.М. Стрельчук; заявник і патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». -№ у 2011 00017; заявл. 04.01.2011; опубл. 25.08.2011. Бюл. № 16. – 6 стр.

УДК 621.74.045:669.24:21.981

Досліджено комплексний вплив технологічних операцій термочасової обробки розплаву (ТЧО), модифікування ультрадисперсними частками карбонітриду титану $Ti(C,N)$ та наступного гарячого ізостатичного пресування (ГІП) на структуру і властивості жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, після стандартної термічної обробки

Ключові слова: термочасова обробка, модифікування, ультрадисперсні частки, гаряче ізостатичне пресування, термообробка

Изучено комплексное влияние технологических операций термовременной обработки расплава (ТВО), модифицирования ультрадисперсными частицами (УДП) карбонитрида титана $Ti(C,N)$ и последующего горячего изостатического прессования (ГИП) на структуру и свойства жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК-ВИ, после стандартной термической обработки

Ключевые слова: термовременная обработка расплава, модифицирование, ультрадисперсные частицы, горячее изостатическое прессование, термообработка

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЖСЗДК-ВИ

П. Д. Жеманюк

Кандидат технических наук, технический директор *

В. В. Клочихин

Инженер, начальник лаборатории специальной металлургии *

E-mail: motor@motorsich.com

Н. А. Лысенко

Инженер*

В. В. Наумик

Доктор технических наук, профессор

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

Запорожский национальный технический университет

ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063

E-mail: naumik@zntu.edu.ua

*АО «Мотор-Сич»

просп. Машиностроителей, 15, г. Запорожье, 69068

1. Введение

Для получения качественных литых деталей из жаропрочных никелевых сплавов для современного авиастроения необходимо постоянно совершенствовать технологические и металлургические процессы, обеспечивающие соответствующий уровень эксплуатационных свойств материалов и изделий.

Одним из перспективных направлений является обеспечение повышенной чистоты и однородности расплавов в процессе литейных технологических процессов.

Известно, что стали и сплавы с мелкокристаллической структурой обладают рядом преимуществ конструкционных и технологических свойств перед сталями и сплавами с крупнокристаллической структурой. Одним из перспективных направлений получения сплавов с мелкокристаллической структурой является модифицирование их тугоплавкими ультрадисперсными порошками (УДП). Применение нанотехнологии позволяет получать материалы с принципиально улучшенными свойствами, многократно повышать эффективность процессов [1 – 6].

Одним из распространённых видов брака литых детали горячего тракта авиационных двигателей, изготавливаемых из жаропрочных никелевых сплавов и характеризующихся сложной конфигурацией, является наличия внутренних дефектов усадочного характера.

Эффективным способом исправления внутренних дефектов ответственных отливок является метод горячего изостатического прессования (ГИП), сущность которого состоит во всестороннем сжатии отливок специальными жидкостями или газами при высоких температурах [7 – 12].

Проведение последующей термической обработки позволяет снять остаточные напряжения и повысить пластичность материала при сохранении уровня прочностных свойств [13, 14].

2. Методика исследований

Исследовали состав, структуру и свойства литых образцов из жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК-ВИ, полученных с применением следующих комплексов технологических операций:

0 – по серийной технологии;

1 – по серийной технологии после горячего изостатического прессования (ГИП);

2 – с применением предварительной термовременной обработки расплава (ТВО);

3 – с применением предварительной термовременной обработки расплава (ТВО) после горячего изостатического прессования (ГИП);

4 – с применением предварительной термовременной обработки расплава (ТВО) и модифицирования ультрадисперсными частицами карбонитрида титана Ti[Ti(C,N)];

5 – с применением предварительной термовременной обработки расплава (ТВО) и модифицирования ультрадисперсными частицами карбонитрида титана Ti[Ti(C,N)] после горячего изостатического прессования (ГИП).

Все опытные образцы подвергали гомогенизации при 1210 ± 10 °С в течение 4 часов в вакууме.

Исходный сплав был получен на АО «Мотор – Сич» на установке FM 1-2-100 фирмы «ULVAC».

Плавки по изготовлению опытных образцов проводили в печи УППФ-3М при температуре 1570 ± 10 °С.

Термовременную обработку (ТВО) расплава проводили при температуре 1800 °С в течение 6 минут.

Заливку расплава осуществляли при температуре 1540 ± 10 °С в керамические формы, полученные по выплавляемым моделям нагретые до температуры 810 + 40 °С.

Модифицирование ультрадисперсными частицами (УДП) карбонитрида титана проводили из расчёта 0,05 % [Ti(C,N)] по массе с использованием таблеток на основе титана при температуре 1650 °С с выдержкой от

1 мин. 55 с. до 2 мин. 45 с. Содержание компонентов в таблетке находилось в соотношении: Ti – 90 %; Ti(C,N) – 10 %.

Процесс горячего изостатического прессования (ГИП) проводили по следующему режиму:

- начальное давление в СВД – 38 МПа;
- нагрев до 1040 ± 10 °С со скоростью 8...10 °С/мин;
- выдержка при 1040±10 °С – 1,5 часа;
- давление в СВД при 1040 °С – 120 МПа;
- нагрев до 1210 ± 10 °С со скоростью – 4°/мин.;
- выдержка при 1210 ± 10 °С – 2 часа;
- давление в СВД при 1210 °С – 160 МПа;
- охлаждение отливок до 300 °С со скоростью 26 °/мин.

3. Основной материал исследований

Химический состав образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ опытных вариантов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплава ЖСЗДК-ВИ опытных вариантов

Вариант	Содержание элементов, %									
	C	Cr	Co	W	Al	Ti	Mo	Fe	Si	Mn
0	0,068	11,78	9,55	4,28	4,54	3,05	4,26	< 2,0	< 0,4	< 0,4
1	0,071	11,92	9,62	4,21	4,53	3,07	4,23	< 2,0	< 0,4	< 0,4
2	0,060	11,60	9,56	4,30	4,48	3,06	4,27	< 2,0	< 0,4	< 0,4
3	0,077	11,55	9,66	4,23	4,60	3,20	4,24	< 2,0	< 0,4	< 0,4
4	0,067	11,44	9,55	4,29	4,67	3,42	4,27	< 2,0	< 0,4	< 0,4
5	0,070	11,41	9,63	4,32	4,60	3,49	4,26	< 2,0	< 0,4	< 0,4
Нормы ОСТ 1.90126-85	0,06- 0,11	11,0- 12,5	8,0- 10,0	3,8- 4,5	4,0- 4,8	2,5- 3,2	3,8- 4,5	≤ 2,0	≤ 0,4	≤ 0,4

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что содержание элементов в исследуемых образцах, в основном, соответствовало требованиям ОСТ 1.90126-85. За исключением образцов, модифицированных Ti[Ti(C,N)], в которых содержание титана примерно на 11 % превышало уровень требований ОСТ.

Исследовали макроструктуру образцов после химического травления в реактиве, состоящем из 80% HCl и 20% H₂O₂ (рис. 1). Установлено, что проведение термовременной обработки расплава (ТВО) способствует некоторому укрупнению макрозерна (рис. 1, варианты 2 и 3), а модифицирование карбонитридными частицами Ti(C,N) приводит к измельчению зерна (рис. 1, варианты 4 и 5, табл. 2).

Физико-механические свойства определяли на отдельно отлитых пальчиковых образцах (Ø и l=12 мм) после их термической обработки по стандартному режиму (гомогенизация при температуре 1210 °С с выдержкой 3,5 часа и охлаждением на воздухе). Результаты испытаний механических свойств при комнатной температуре и жаропрочных – при температуре 850 °С и напряжении 35 кгс/мм² представлены в табл. 3.

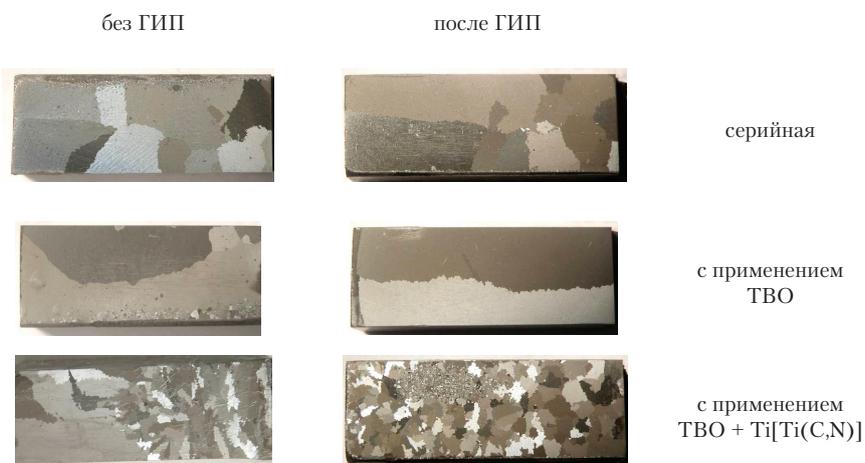


Рис. 1. Макроструктура опытных образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ × 2

ные и отвечают требованиям ОСТ 1.90126-85.

Наиболее благоприятное сочетание прочностных (s_b) и пластических (d, Ψ, KCU) характеристик, а также длительной прочности при температуре 850 °C и нагрузке 35 кгс/мм², характеризующееся стабильностью результатов испытаний, получено на образцах, модифицированных Ti(C,N) (варианты 4 и 5).

Микроструктура образцов, изготовленных по серийной технологии (варианты 0 и 1), а также после модифицирования частицами Ti(C,N) (варианты 4 и 5), как до, так и после газостатирования, удовлетворительная для сплава ЖСЗДК-ВИ в нормально термообработанном состоянии (рис. 2).

В материале образцов, изготовленных по вариантам 4 и 5 обнаружены включения нитридов и карбонитридов, размеры которых составляют 3...12 мкм (табл. 4). В немодифицированном металле нитридные включения встречаются редко, и размер их не превышает 2 мкм (табл. 4).

В образцах, полученных без проведения операции газостатирования (варианты 0, 2 и 4) обнаружены микропоры, а также усадочные рыхлоты размером до 30 мкм (табл. 4, рис. 3).

Проведение операции горячего изостатического прессования (варианты 1, 3 и 5) способствует «залечиванию» усадочных дефектов. В структуре исследованных лопаток после ГИП микропоры и рыхлоты практически отсутствуют (табл. 4, рис. 4).

В серийных образцах карбиды типа MC выделяются, в основном, в виде дискретных глобулярных частиц с наличием пластин эвтектических карбидов типа M₆C размером до 40 мкм, располагающихся преимущественно на границах зерен и в междендритных пространствах (табл. 4, рис. 5, вариант 0).

Проведение термовременной обработки расплава при температуре 1850 °C в течение 5 минут и в особенности модифицирования карбонитридами титана способствует дроблению карбидных пластин и равномерному их распределению в объеме металла (рис. 5, варианты 2 и 4).

Расстояние между осями дендритов второго порядка в образцах, отлитых по серийной технологии, а также с проведением ТВО примерно на 20 % больше, чем в модифицированных образцах (табл. 4).

На рис. 6 показаны зоны «залечивания» микропор в образцах, прошедших газостатирование (варианты 1, 3 и 5).

Таблица 2

Размер макрозерна, мм образцов l=12 мм из сплава ЖСЗДК-ВИ опытных вариантов

0	1	2	3	4	5
3,0...8,5	2,5...13,5	3,0...18,0	~ 26,0	0,5...3,0 (единичные кристаллы до 7 мм)	0,5...2,0 (мелкие частицы ~0,07 мм)

Таблица 3

Механические и жаропрочные свойства опытных образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ после стандартной термообработки

Вариант	Состояние материала	Механические свойства при 20 °C				Время до разрушения при 850 °C под нагрузкой 35 кгс/мм ² , t _p , час.
		s_b , кгс/мм ²	d, %	Ψ , %	KCU, кгс·м/см ²	
0	серийная без ГИП	88,1	10,4	16,2	2,25	689,0 705,0
		91,4	10,8	12,4	3,50	
1	серийная после ГИП	97,3	12,0	15,4	3,13	685,5 445,5
		101,3	11,6	15,4	3,13	
2	с применением ТВО без ГИП	82,3	18,0	16,1	7,50	16,5 30,5 20,5
		87,2	17,6	22,8	8,50	
		80,4	21,2	23,5	-	
3	с применением ТВО после ГИП	99,6	16,8	14,2	6,00	499,0 454,0
		97,4	19,2	22,8	4,38	
		95,1	11,2	12,9	6,25	
4	с применением ТВО + Ti[Ti(C,N)] без ГИП	97,5	12,0	16,1	7,13	784,5 1050,5
		108,0	14,8	15,6	4,25	
5	с применением ТВО + Ti[Ti(C,N)] после ГИП	102,0	10,4	19,7	4,75	692,0 784,0
		111,7	13,6	12,6	5,75	
Нормы ОСТ 1.90126-85		³ 95,0	³ 7,0	-	³ 3,0	³ 50,0

Из представленных данных видно, что механические и жаропрочные свойства исследованных образцов (за исключением варианта 2), удовлетворитель-

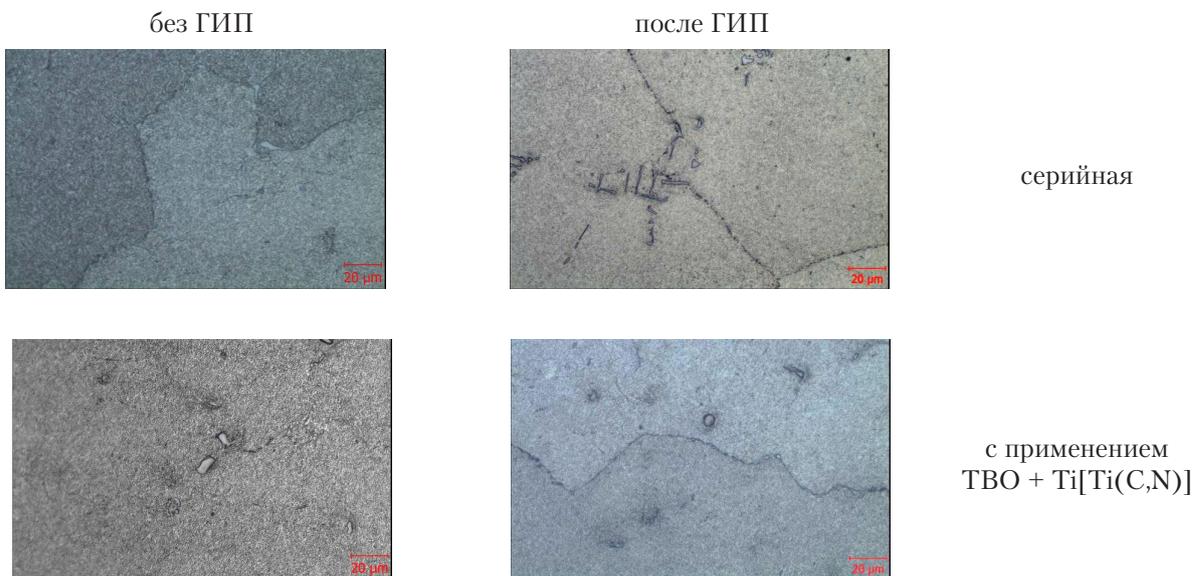


Рис. 2. Микроструктура образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ, изготовленных по различным вариантам, × 500

Таблица 4

Размеры структурных составляющих в опытных образцах из сплава ЖСЗДК-ВИ

Вариант	Состояние сплава	Размер карбидов, мкм		Размер нитридов, мкм	Размер микропор, мкм	Расстояние между осями дендритов 2-го порядка, мкм
		глобулярные типа МС	пластинчатые типа М ₆ С			
0	серийная без ГИП	2...12	12...40	~ 2 (редко)	8...30	55...90
1	серийная после ГИП	2...10	10...32	~ 2 (редко)	-	55...90
2	с применением ТВО без ГИП	2...6	до ~ 14 (редко)	~ 2 (редко)	6...28	55...85
3	с применением ТВО после ГИП	2...10	до ~ 18 (редко)	~ 2 (редко)	-	60...85
4	с применением ТВО + Ti[Ti(C,N)] без ГИП	2...14	до ~ 10 (редко)	3...7	6...20	50...60
5	с применением ТВО + Ti[Ti(C,N)] после ГИП	2...10	до ~ 16 (редко)	3...12	-	50...60

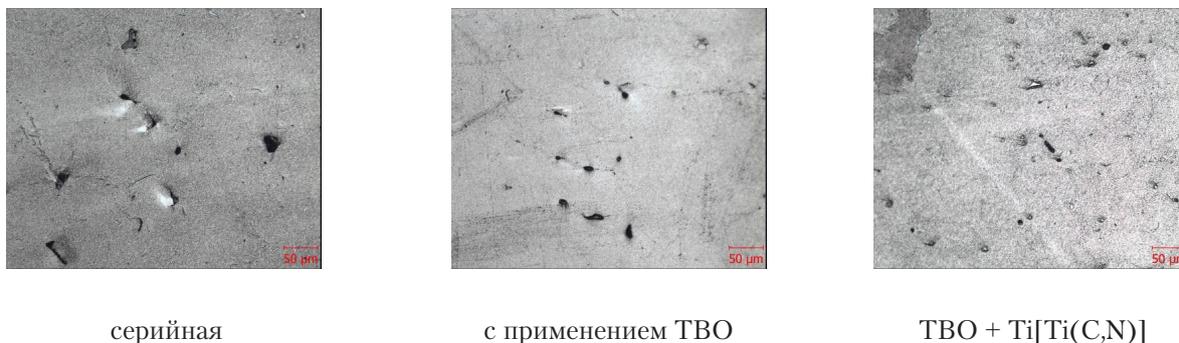


Рис. 3. Микропористость в образцах из сплава ЖСЗДК-ВИ, изготовленных по различным вариантам без проведения операции ГИП, × 200

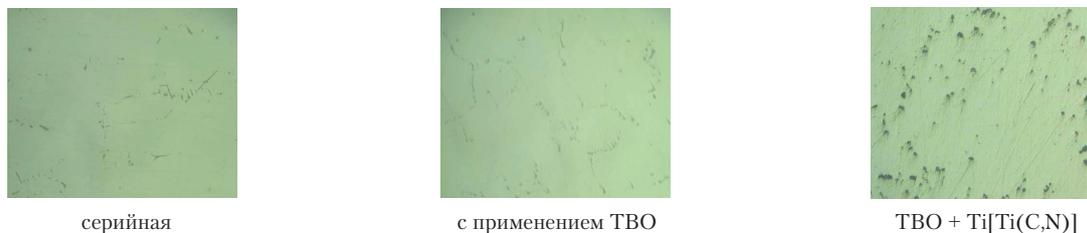


Рис. 4. Нетравленная структура образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ, изготовленных по различным вариантам с применением операции ГИП, × 200

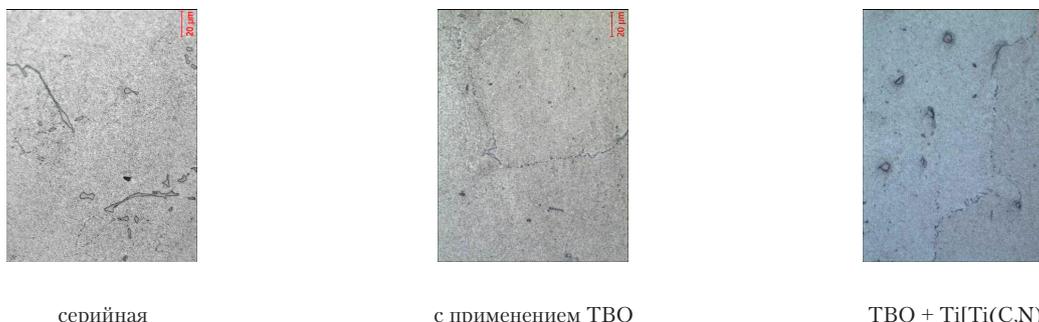


Рис. 5. Карбиды в образцах из сплава ЖСЗДК-ВИ, изготовленных по различным вариантам без применения операции ГИП, × 500



Рис. 6. Зоны «залечивания» микропор в образцах из сплава ЖСЗДК-ВИ после ГИП, × 1000

4. Выводы

1. Химический состав опытных образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ, изготовленных по различным вариантам, в основном, соответствует требованиям ОСТ 1.90126-85. При этом в образцах, модифицированных Ti[Ti(C,N)] (варианты 4 и 5), содержание титана примерно на 11 % превышает уровень требований ОСТ.

2. Проведение термовременной обработки расплава (ТВО) способствует некоторому укрупнению макрозерна (варианты 2 и 3), а модифицирование карбонитридными частицами Ti(C,N) (вариант 5) – приводит к измельчению зерна.

3. Механические и жаропрочные свойства исследуемых образцов после различных вариантов (за исключением варианта 2), удовлетворительные и отвечают требованиям ОСТ 1.90126-85. Снижению ме-

ханических (σ_b) и жаропрочных (время до разрушения τ_p) свойств материала образцов, изготовленных по варианту 2, обусловлено наличием структур перегрева, образовавшихся в процессе термической обработки, вероятно, вследствие снижения температуры солидус в результате проведения ТВО при температуре 1800 °С в течении 6 минут.

4. Наиболее благоприятное сочетание прочностных (σ_b) и пластических (δ , ψ , KCU) характеристик, а также длительной прочности при температуре 850 °С и нагрузке 35 кгс/мм², характеризующееся стабильностью результатов испытаний, получено на образцах, модифицированных Ti(C,N) (варианты 4 и 5).

5. Проведение операции горячего изостатического прессования способствует «залечиванию» усадочных дефектов типа пор и рыхлот.

Литература

1. Рыбкин, В.А. Направления развития технологий специальных способов литья [Текст] / В.А. Рыбкин. – Литейное производство. – 2010 – № 2.

2. Иншаков, О. О приоритете государства в сфере наноиндустрии [Текст] / О. Иншаков, А. Фесин. // Экономист. – 2009. – № 10.
3. Сабуров, В.П. Упрочняющее модифицирование стали и сплавов / В.П. Сабуров // Литейное производство. – 1988. – № 9. – С. 7 – 8.
4. Седелников, В.В. Закономерности влияния ультрадисперсных порошков на физико-механические свойства фосфатно-силикатных связующих и литых заготовок / Седелников В.В. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 // Литейное производство. – 2006 г. – 130 с.
5. Фаткуллин, О.Х. Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицам тугоплавких соединений / О.Х. Фаткуллин // Литейное производство. – 1993. – № 4. – С. 13 – 14.
6. Влияние модифицирования на пластичность сплава ЖС6К / Л.Н. Ларионов, Ю.З. Бабаскин, С.Я. Шипицын, О.А. Шматко. // Металловедение и термическая обработка. – 1983. – № 2. – С. 52 – 54.
7. Галдин, Н.М. Цветное литьё: справочник [Текст] / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др.; под общ. ред. Н.М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
8. Диффузионная модель вакансионного растворения пор в условиях газозостатического прессования монокристалла жаропрочного сплава на никелевой основе / Б.С. Бокштейн, В.А. Есин, В.Н. Ларионов и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 3. – С. 5 – 9.
9. Оспенникова, О.Г. Повышение свойств жаропрочного сплава ЖС6У-ВИ путем горячего изостатического прессования и последующей термической обработки. / О.Г. Оспенникова, М.Р. Орлов // Металловедение. – 2007. – № 9. – С. 32 – 36.
10. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки турбины. Часть II. Монография. Изд. 2-е, переработанное и дополненное / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – г. Запорожье, изд. ОАО „Мотор Сич“. – 2007. – 496 с.
11. Орлов, М.Р. Аналитическая оценка кинетики релаксационных процессов в никелевом жаропрочном сплаве ЖС6У-ВИ / М.Р. Орлов, Е.М. Орлов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 1/17. – С. 26 – 29.
12. Особенности механизма пластической деформации сплава ЖС6У-ВИ при нормальной и повышенной температурах. / П.Д. Жеманюк, В.К. Яценко, М.Р. Орлов, О.В. Рубель // Металлознание та обробка металів. – 2000. – № 3. – С. 31 – 37.
13. Химушин, Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов [Текст] / Ф.Ф. Химушин – М.: Оборонгиз, 1962. – 336 с.
14. Гуляев, А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев – М.: Металлургиздат, 1948. – 556 с.

Наведено перспективний напрямок застосування високооборотних турбін, що мають високі значення ККД і питомої потужності, які через редуктор, що знижує частоту обертання вихідного валу, з'єднуються з ротором електрогенератора. При однаковому перепаді тиску газу, що спрацьовує, в порівнянні з безредукторною схемою, потрібна витрата газу в цій установці менше приблизно на 30 %

Ключові слова: газ, турбіна, компресор, ККД, потужність, тепло, електрогенератор, редуктор

Описано перспективное направление применения высокооборотных турбин, имеющих высокие значения КПД и удельной мощности, которые через редуктор, понижающий частоту вращения выходного вала, соединяются с ротором электрогенератора. При одинаковом срабатываемом перепаде давления газа, по сравнению с безредукторной схемой, потребный расход газа в данной установке меньше примерно на 30 %

Ключевые слова: газ, турбина, компрессор, КПД, мощность, тепло, электрогенератор, редуктор

УДК 622.691.48.053(07)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА, РЕДУЦИРУЕМОГО НА ГРС И ГРП ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛА

А. П. Черных

Кандидат технических наук, генеральный директор,
член-корреспондент Международной инженерной
академии

Научно-производственное предприятие

“Газэлектроприбор”

E-mail: g-e-p@mail.ru

А. И. Васильев

Доктор экономических наук

Президент инженерной академии Украины

ул. Дм. Пожарского 2/10, г. Харьков, Украина, 61046

E-mail: 7788982@gmail.com