



Эффективность применения интерметаллидных сплавов в газотурбинных двигателях

Е.Н. Каблов

доктор технических наук

Б.С. Ломберг

доктор технических наук

В.П. Бунтушкин

кандидат технических наук

О.А. Базылева

кандидат технических наук

Ноябрь 1999

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале
«Авиационная промышленность», № 4, 2000 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Эффективность применения интерметаллидных сплавов в газотурбинных двигателях

Е.Н. Каблов, Б.С. Ломберг, В.П. Бунтушкин,
О.А. Базылева

Всероссийский институт авиационных материалов

За последние несколько лет для решения задач ремонтного и перспективного производства газотурбинных двигателей авиационного и энергетического назначения в ГП ВИАМ ГНЦ РФ (далее ВИАМ) разработаны принципиально новые высокотемпературные интерметаллидные материалы. Основой новых литейных конструкционных материалов служит интерметаллидное соединение Ni_3Al , отличающееся низкой плотностью, равной 7290 кг/м^3 , высокой жаростойкостью при эксплуатации в окислительных средах, а также термической стабильностью структуры до 1385°C .

По зарубежным данным, интерметаллидные материалы на основе интерметаллида Ni_3Al могут использоваться для роторов гидротурбин, так как обладают высоким сопротивлением виброкавитации, рольгангов термических печей для нагрева стальных слябов, так как при этом не требуется охлаждать ролики для снижения температуры по сравнению со сплавами на железной и никелевой основах и др.

Новые литейные материалы ВИАМ паспортизованы и рекомендованы для технологического и эксплуатационного опробования в изделиях авиационной техники применительно к ряду высокотемпературных деталей горячего тракта. В табл. 1 приведены марки интерметаллидных сплавов, область их применения, допустимая рабочая температура и оптимальная макроструктура отливок, обеспечивающая гарантированный комплекс физико-механических и коррозионных свойств.

Таблица 1.

Марки интерметаллидных сплавов, назначение, рабочая температура и оптимальная макроструктура

Марка сплава	Назначение	Рабочая температура деталей, °С	Рекомендуемая макроструктура отливок
ВКНА-1В	Сопловые лопатки, элементы жаровых труб	900–1250 с забросами до 1300	Столбчатая направленная дендритная
ВКНА-1В МОНО	Рабочие лопатки	900–1150 с забросами до 1250	Монокристаллическая с КГО <111> и отклонением ≤10 град
ВКНА-2	Напайка и наплавка АДЭС на бандажные полки рабочих лопаток для защиты от износа и окисления	950–1100	Равноосная дендритная
ВКНА-4	Жаровые трубы, створки регулируемого сопла, сопловые лопатки	900–1200	Равноосная дендритная

На новые материалы разработаны технические условия на поставку, технологические рекомендации на изготовление деталей. Организовано серийное производство новых сплавов в виде шихтовой заготовки, предназначенной для производства фасонных деталей методами точного литья по выплавляемым моделям.

Интерметаллидные материалы марки ВКНА (ВИАМ конструкционный никель-алюминиевый), имея близкий уровень жаропрочности с никелевыми аналогами типа ЖС6К, ЖС26, ЖС6Ф, при температурах 1100–1200°С превосходят их по удельной жаропрочности, жаростойкости, сопротивлению износу, термической усталости. Наряду с этим они имеют экономичный химический состав, что обуславливает более низкую стоимость шихтовой заготовки. Технология производства фасонных литых деталей аналогична технологии производства деталей из никелевых сплавов и не требует

специального оборудования и оснастки по сравнению с никелевыми сплавами*.

Основные свойства интерметаллидных материалов в интервале температур 20–1200°C приведены в табл. 2 и 3. Особенностью сплавов этого класса материалов является то, что их предел текучести при растяжении имеет максимальное значение при температурах 700–800°C, а не при комнатной температуре, как у никелевых сплавов, что упрощает их механическую обработку.

Таблица 2.

Свойства интерметаллидных сплавов

Марка сплава	Плотность, кг/м ³	Механические свойства при температурах, °С											
		20			700			900		1100		1200	
		σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ ,	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ ,	σ_{100}	σ_{500}	σ_{100}	σ_{500}	σ_{100}	σ_{500}
		МПа		%	МПа		%	МПа		МПа			
ВКНА-1В	7938	740	410	36	850	750	30	250	190	65	45	43	30
ВКНА-1В	7700	1300	620	12	1050	750	22	360	290	100	75	50	30
МОНО													
ВКНА-2	7490	630	580	2,0	–	–	–	–	–	15	–	–	–
ВКНА-4	7840	700	380	15,0	–	–	–	230	170	55	40	23	10

Таблица 3.

Жаростойкость интерметаллидных сплавов

Марка сплава	Привес, г/м ² , при окислении в воздушной среде при температурах, °С			
	1000	1100	1200	1250
ВКНА-1В	2,5–5,8	–	12–20	24–25
ВКНА-1В	2,5	–	12,0	22,0
МОНО				
ВКНА-2	5,8	7,6	20,0	–
ВКНА-4	–	20,0	–	–

По сравнению с зарубежными сплавами марок IC-6, T-144 и IC-396 на основе интерметаллида Ni₃Al, запатентованными в США, Англии и Китае, отечественные материалы обеспечивают более высокий уровень жаропрочных и жаростойких свойств при температурах выше 1000°C. В настоящее время материалы марки ВКНА широко опробованы и внедрены в ремонтном и серийном производстве газотурбинных двигателей.

* Каблов Е.Н., Бунтушкин В.П., Базылева О.А. и др. Малолегированные легкие жаропрочные литейные сплавы на основе интерметаллида Ni₃Al // Металлы.– №1, 1999. С. 58–65.

На серийных двигателях семейства НК, Д-30 рабочие лопатки турбины имеют бандажные полки. Натяг лопаток в колесе осуществляется через контактные площадки бандажных полок. При увеличении ресурса двигателей усложняются условия работы рабочих лопаток, в особенности на контактирующих поверхностях. Это ведет к значительному их износу в результате окисления, обеднения поверхности легирующими элементами и смятию. Для устранения повреждения контактных площадок бандажных полок разработан и рекомендован интерметаллидный сплав ВКНА-2, отличающийся высоким сопротивлением износу в окислительных средах. Материал опробован для упрочнения и восстановления поврежденных поверхностей деталей путем припайки пластин по форме и размерам контактных площадок или наплавки АДЭС после удаления поврежденного слоя. Новый материал и технология позволили увеличить гарантированный и общетехнический ресурс двигателей семейства НК, Д-30, используемых в авиационной технике и на газоперекачивающих станциях. Зарубежные фирмы планируют использовать подобные сплавы для роторов турбонаддува дизельных грузовых автомобилей, так как, помимо высоких жаростойкости, коррозионной стойкости, материал обладает хорошими литейными свойствами.

Для повышения производительности обсуждается также возможность использования интерметаллидных материалов этого типа для неподвижных деталей термических печей при термической обработке автомобильных изделий вместо сплава на никель-хромовой основе, который сильно растрескивается после 500 термоциклов.

Интерметаллидный сплав ВКНА-4 успешно применен для изготовления неохлаждаемых сопловых лопаток в газотурбинном серийном двигателе «Ока-3», входящем в состав ряда изделий авиационной техники. Замена новых охлаждаемых воздухом лопаток соплового аппарата первой ступени из сплава ЖС6 на неохлаждаемые лопатки из интерметаллидного материала позволила снизить трудовые и материальные затраты при изготовлении

литых заготовок лопаток в 2 раза, а при механической обработке – в 1,5 раза. Применение соплового аппарата с неохлаждаемыми лопатками обеспечило надежную работу изделия на требуемый ресурс, увеличило мощность двигателя, снизило расход топлива и массу.

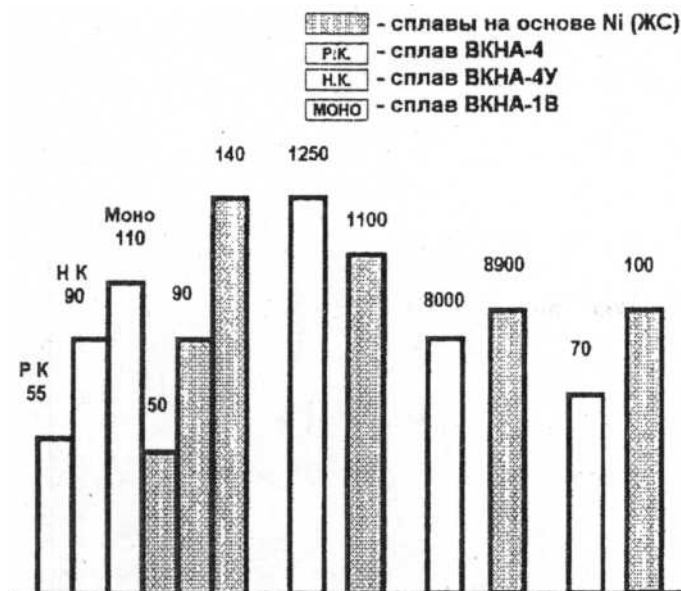
В настоящее время в двигателе серии «Ока-3» планируется использовать интерметаллидный сплав марки ВКНА-1В МОНО для изготовления рабочих лопаток турбины первой ступени в целях снижения нагрузки на ротор, увеличения его оборотов и, как следствие, его мощности.

Использование интерметаллидного сплава марки ВКНА-1В, обладающего хорошими литейными свойствами, на двигателях серии ТВД-20 и ВСУ-10 для изготовления цельнолитых сопловых аппаратов позволяет снизить трудоемкость их производства, а также упростить конструкцию. Сопловые аппараты без охлаждения воздухом надежно отработали в течение 1000 ч при максимальной рабочей температуре до 1200°C. Это позволило увеличить мощность двигателей, снизить массу и расход топлива. При этом существенно уменьшились затраты на приобретение шихтовых материалов и изготовление узла.

На изделиях ТВД-20 и ВСУ-10 интерметаллидный сплав с монокристаллической структурой с ориентацией <111> успешно опробован для изготовления неохлаждаемых рабочих лопаток первой ступени. Испытания в составе изделий в течение 4000 ч при температуре на 60°C выше штатной показали надежную работу лопаток и отсутствие характерного дефекта, наблюдаемого при использовании лопаток из никелевых сплавов типа ЖС26, – «потери устойчивости пера».

Итак, установлено, что замена ряда никелевых литейных жаропрочных сплавов новыми материалами на основе интерметаллида Ni_3Al марки ВКНА с равноосной, направленной и монокристаллической структурой позволяет повысить рабочую температуру деталей на 60°C, снизить их массу на 7–10%, увеличить жаростойкость до 1200°C, уменьшить затраты на приобретение шихтовых материалов. В серийном производстве

газотурбинных двигателей это позволяет увеличить их мощность, снизить расход воздуха и топлива, а также повысить экономические показатели. На рисунке приведены данные по техническому и экономическому эффекту от применения интерметаллидных материалов марки ВКНА взамен литейных никелевых аналогов марки ЖС.



Технико-экономический эффект замены литейных никелевых сплавов интерметаллидными