

УДК 621.74.045:669.24:21.981

МОДИФИЦИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦАМИ Ti(C,N) ОТЛИВОК ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ЖСЗДК-ВИ С Пониженным СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

Н.А. Лысенко
Ведущий инженер*

В.В. Клочихин
Начальник бюро*

*Управление главного металлурга
ОАО «Мотор-Сич»
ул. Моторостроителей, 15, г. Запорожье, Украина, 69068
Контактный тел.: (061) 720-42-96

Э.И. Цивирко

Доктор технических наук, профессор
Кафедра «Машины и технология литейного производства»
Запорожский национальный технический университет
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063
Контактный тел.: (061) 769-83-21

Модифікування відливок робочих лопаток ГТД із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВИ зі знизеним вмістом вуглецю (0,02...0,04%) пігулками з ультрадисперсними частками Ti(C,N) дозволило підвищити фізико-механічні та службові характеристики, а також сприяло стабілізації значень механічних та жароміцних властивостей

Ключові слова: Модифікування, жароміцний сплав, ультрадисперсні частки, вміст вуглецю

Модифицирование отливок рабочих лопаток ГТД из жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК-ВИ с пониженным содержанием углерода (0,02...0,04%) таблетками с ультрадисперсными частицами Ti(C,N) позволило повысить физико-механические и служебные характеристики, а также способствовало стабилизации значений механических и жаропрочных свойств

Ключевые слова: Модифицирование, жаропрочный сплав, газотурбинный двигатель, ультрадисперсные частицы содержание углерода

Inoculation of heat-resistant low carbon alloy ЖСЗДК-ВИ (0,02... 0,04% C) with superdispersed particle Ti(C, N) pellets has resulted in improvement of physical and mechanical and ancillary characteristics as well as made contribution to improving repeatability of mechanical and high-temperature property values

Key words: Inoculation, gas turbine engine, heat resistant alloy, superdispersed particles, carbon content

Использование современных материалов для лопаток турбин с высокими показателями свойств обычно ограничивается тем, что увеличение прочности приводит к снижению пластичности. Данные по нанокompозитам показывают, что уменьшение структурных элементов может привести к созданию новых типов материалов, сочетающих высокие прочностные и пластические характеристики. Действие комплексных модификаторов, содержащих карбидо- и нитрообразующие элементы, сочетает модифицирование с микролегированием, обеспечивая измельчение зерна, твердорастворное и дисперсионное упрочнение при термообработке [1].

Несмотря на малое содержание, углерод в жаропрочных никелевых сплавах оказывает большое влияние на их структуру и свойства, так как образует не только труднорастворимый карбид титана, но и карбиды хрома типа Cr₂₃C₆; Cr₇C₃; а в присутствии вольфрама и молибдена – двойные карбиды типа Me₆C [2]. Содержание углерода в современных высокожаропрочных сплавах на никелевой основе с равноосной структурой не превышает 0,2%. В некоторых случаях, когда необходимо обеспечить высокую пластичность,

допустимое количество углерода в сплавах с равноосной структурой снижают до 0,03-0,07%. Однако при этом наблюдается определенное падение прочности и долговечности [3].

В настоящей работе исследовали влияние пониженного содержания углерода (0,02...0,04%) на структуру и свойства отливок рабочих лопаток турбин авиационных ГТД из никелевого жаропрочного сплава ЖСЗДК-ВИ, модифицированного карбонитридом титана Ti(C,N).

Отливки лопаток ГТД получали в печи УППФ-3М при температуре 1600^{±10}°C с последующей высокотемпературной термовременной обработкой расплава (ВТОР) при температуре 1750°С в течении 6 минут. Модификатор Ti[Ti(C,N)] вводили в виде таблеток в количестве 0,05% (весовых) при температуре 1650^{±10}°C с выдержкой 1,0...1,5 мин.

Заливку расплава после введения модификатора осуществляли при температуре 1550^{±10}°C в нагретые до температуры 900°С керамические формы.

Для сравнения были отлиты лопатки по серийной технологии без использования модификатора с проведением ВТОР с различным содержанием углерода.

Химический состав (за исключением содержания углерода) исходного сплава ЖСЗДК-ВИ, а также с использованием в ультрадисперсного порошка Ti[Ti(C,N)] (варианты 1_м...4_м), соответствует требованиям ОСТ1.90.126-91. Варианты модифицирования в сравнении с серийным сплавом при различном содержании углерода приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты модифицирования при различном содержании углерода

Марка сплава	Состояние материала	Вариант	Содержание углерода в исходном сплаве, %
ЖСЗДК-ВИ	Серийный сплав ЖСЗДК-ВИ (без присадки модификатора)	«1»	0,02
		«2»	0,04
		«3»	0,07
		«4»	0,10
	Модифицирование Ti[Ti(C,N)]	«1 _м »	0,02
		«2 _м »	0,04
		«3 _м »	0,07
		«4 _м »	0,10

Изучение макроструктурного состояния рабочих лопаток показало, что модифицирование частицами Ti[Ti(C,N)] способствует измельчению макрозерна. При этом размер зерна в модифицированных лопатках более чем в 3 раза меньше, чем в аналогичных лопатках, отлитых по серийной технологии. Следует также отметить, что различие в размерах зёрен пера и хвостовика серийных лопаток незначительно, тогда как, в модифицированных лопатках размен зёрен в хвостовой части в ~ 2 раза больше, чем в пере.

Все увеличивающееся использование охлаждаемых турбинных лопаток из никелевых сплавов показало, что крупные зерна, пронизывающие практически полностью их тонкие сечения, приводили к снижению кратковременной прочности и сопротивления ползучести [4].

Механические и жаропрочные свойства определяли на отдельно отлитых пальчиковых образцах диаметром 12 мм после их термической обработки по стандартному режиму:

- гомогенизация при температуре 1210°C (выдержка 3,5 часа), охлаждение на воздухе.

Результаты испытаний механических свойств при комнатной температуре представлены в табл. 2.

Из графика зависимости механических свойств (σ_b , δ и KCU) от содержания углерода (рис. 1) видно, что модифицирование сплава ЖСЗДК-ВИ таблетками с ультрадисперсными частицами Ti(C,N), а также увеличение содержания углерода обуславливают повышение предела прочности сплава, при снижении пластических характеристик. Предел прочности серийного сплава с содержанием углерода 0,02...0,04% не соответствует требованиям ОСТа. Присадка 0,05% карбонитрида титана в сплав с 0,02...0,04%С способствует повышению σ_b до значений, превышающих требования ОСТа.

Таблица 2

Размеры структурных составляющих в пере рабочих лопаток из сплава ЖСЗДК-ВИ

Состояние сплава	Вариант	Размер карбидов, мкм	Размер нитридов, мкм	Размер микропор, мкм	Расстояние между осями дендритов 2 ^{го} порядка, Мкм
Серийный сплав ЖСЗДК-ВИ (без присадки модификатора)	«1»	2...6	1...4 (редко)	до 70	50...75
	«2»	2...6 (един.-12)	~2 - редко	5...25 (един.-50)	30...75
	«3»	4...10 (един.-16)	~1 - редко	5...25 (един.-50)	50...75
	«4»	3...14 (един.-22)	практически отсутствуют		50...70
Модифицирование Ti[Ti(C,N)]	«1 _м »	2...8 (един.-18)	1...6	до 30	45...55
	«2 _м »	2...8 (един.-18)	1...6	до 20	40...50
	«3 _м »	2...8 (един.-20)	1...8	до 20	40...50

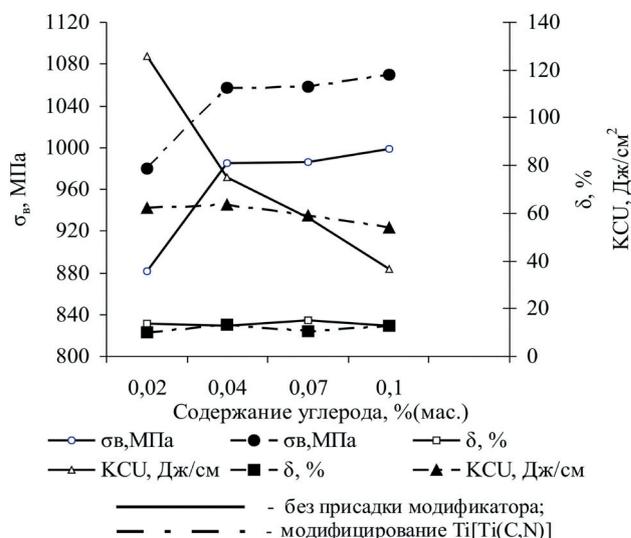


Рис. 1. График зависимости механических свойств (σ_b , δ и KCU) от содержания углерода в сплаве ЖСЗДК-ВИ

Снижение пластичности (KCU) в немодифицированном металле с повышением концентрации углерода с 0,02% до 0,1% достигает 3,5 раз. В некоторых образцах

с 0,1%С значения ударной вязкости находятся ниже норм ОСТА. Отрицательное влияние углерода в модифицированном металле заметно меньше – уменьшение величины ударной вязкости не превышает 15%.

В сплавах с 0,02%С и 0,04%С наблюдается падение жаропрочности до $\tau_p=3^{10}$ час. (рис. 2). Модифицирование приводит к существенному увеличению времени до разрушения при температуре испытания 850°C и напряжении 350 МПа сплава ЖСЗДК-ВИ от 250³⁰ час. до 306⁴⁰ час., соответственно, что более чем в ~ 5 раз превышает требования технической документации.

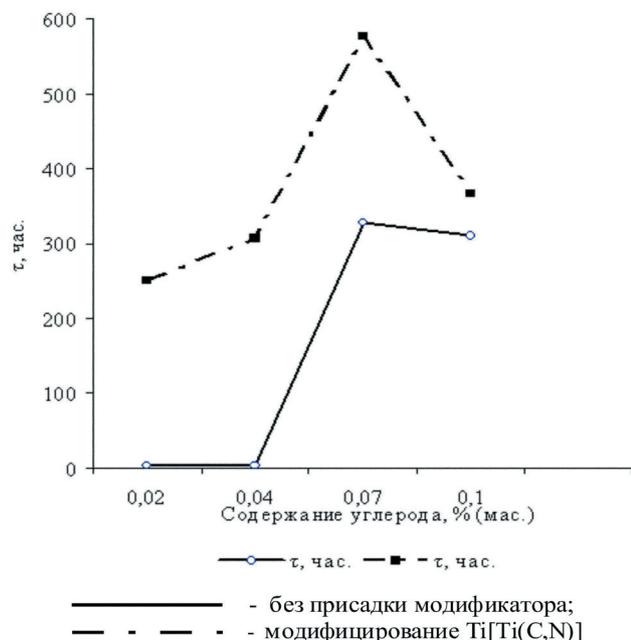


Рис. 2. График зависимости длительной прочности при температуре 850°C и напряжении 350 МПа от содержания углерода в сплаве ЖСЗДК-ВИ

Значения длительной прочности отливок из сплава ЖСЗДК-ВИ при содержании углерода 0,07% и 0,1% (как серийного, так и модифицированного) значительно превышают требования ОСТ1.90.126-91 и составляют ~318⁰⁰ час. – в исходном сплаве и ~ 520³⁰ час. – с присадкой 0,05% Ti[Ti(C,N)].

Таким образом, модифицирование сплава ЖСЗДК-ВИ способствует получению более стабильных значений механических и жаропрочных свойств. При этом следует отметить, что введение в сплав 0,05% Ti[Ti(C,N)] практически устраняет отрицательное влияние на физико-механические свойства пониженного содержания углерода.

Металлографическим исследованием установлено, что микроструктура отливок лопаток ГТД, а также пальчиковых образцов из сплава ЖСЗДК-ВИ аналогична – представляет собой γ -твердый раствор, из которого при охлаждении выделяются частицы вторичной интерметаллидной γ -фазы.

При содержании в серийном сплаве 0,02...0,04%С выделение первичных карбидов типа MeC и карбонитридов незначительно. Повышение концентрации углерода, а также введение модификатора Ti[Ti(C,N)] способствуют дополнительному образованию карбидов, карбонитридов и нитридов, увеличению их количества и размеров (табл. 2). Первичные карбиды

типа MeC в модифицированном сплаве с различным содержанием углерода (0,02...0,1%) выделяются в виде дискретных частиц и равномерно распределены в объеме металла. Тогда как, в образцах с содержанием углерода 0,07...0,1%, отлитых по серийной технологии, на границах зерен обнаружены полиэдрические, а также пленочные карбиды.

Модифицирование сплава Ti[Ti(C,N)] приводит к уменьшению микропористости и измельчению дендритной структуры. При этом уменьшается расстояние между осями дендритов второго порядка и, соответственно, размер дендритной ячейки (см. табл. 2).

Анализ результатов микротвердости матрицы (оси дендритов) исследуемых сплавов после проведения термообработки показал, что повышение концентрации углерода в сплаве ЖСЗДК-ВИ способствует увеличению значений микротвердости. Наряду с этим, при модифицировании частицами Ti[Ti(C,N)] наблюдается тенденция к дополнительному упрочнению сплава.

Выводы

1. Предел прочности при комнатной температуре, а также длительная прочность при температуре 850°C рабочих лопаток ГТД, отлитых по серийной технологии из сплава ЖСЗДК-ВИ с пониженным содержанием углерода (0,02...0,04%) не соответствуют требованиям ОСТ1.90.126-85.

2. Модифицирование сплава ЖСЗДК-ВИ таблетками с ультрадисперсными частицами Ti(C,N) в количестве 0,05% способствует получению более стабильных значений механических и жаропрочных свойств, соответствующих требованиям технической документации, и практически устраняет отрицательное влияние на физико-механические свойства пониженного содержания углерода.

3. Присадка карбонитридов титана приводит к измельчению макрозерна и уменьшению микропористости. При этом уменьшается размер дендритной ячейки и расстояние между осями дендритов второго порядка.

4. В модифицированном сплаве наблюдается повышение количества карбонитридных частиц. Карбонитриды равномерно распределены в объеме металла. Первичные карбиды приобретают более благоприятную морфологию, выделяясь в виде дискретных глобулярных частиц.

Литература

1. Сабуров В.П. Упрочняющее модифицирование стали и сплавов.- Литейное производство, 1988.- №9, с.7.
2. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы.- М.: Металлургия, 1969, с. 357-359.
3. Каблов Е.Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей. - Сплавы, технологии, покрытия. – М.: МИСИС, 2001, с.40-41.
4. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных установок/под ред. Симса Ч.Т., Столоффа Н.С., Хагеля У.К.: Пер. с англ. в 2-х книгах. Кн. I/Под ред. Шалина Р.Е. – М.: Металлургия. – 1995. – 384с.