

УДК 669.1

Канд. техн. наук И. В. Акимов

Национальный технический университет, г. Запорожье

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТИТАНОВОГО ШЛАКА В РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

*Показана возможность применения в качестве конструкционного материала сплава на основе железа, выплавляемого в рудно-термической печи при получении титанового шлака. Использование сплава после индукционного переплава с экономным модифицированием дало возможность изготавливать из него матрицы с высокими эксплуатационными свойствами, применяемые в конструкции брикетировочных прессов.*

**Ключевые слова:** сплав на основе железа, модифицирование, графитизированная сталь.

Известно, что первой стадией технологии производства титана является получение титанового шлака методом плавки ильменитового концентрата в рудно-термической печи (РТП). При этом, образующийся в результате плавки сопутствующий продукт – сплав на основе железа, на Запорожском титано-магниевом комбинате (ЗТМК) сливается в специальные изложницы и полученные при этом слитки утилизируются как металлолом. По нашему мнению такое использование сплава является нерациональным и экономически неэффективным. Анализ технологических характеристик показывает, что при плавке ильменитового концентрата в рудно-термической печи емкостью до 180 м<sup>3</sup> на 1 тонну титанового шлака приходится около 300 кг железоуглеродистого сплава. Таким образом, несложно подсчитать, что на производство 1 тонны титанового сплава приходится получение около 600 кг сплава на железной основе. Увеличение объемов производства на ЗТМК губчатого титана и титановых сплавов, а следовательно и увеличение количества получаемого сопутствующего железоуглеродистого сплава значительно актуализируют указанную проблему.

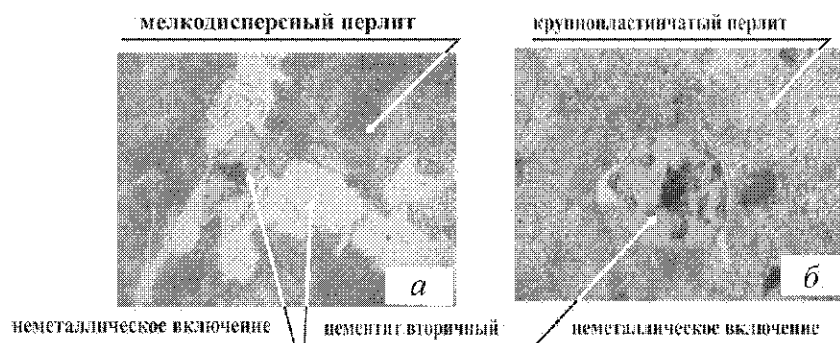
На наш взгляд более перспективным и экономичным могло бы стать использование, а также возмож-

ная реализация данного продукта как конструкционного материала. Однако, для этого он должен иметь стабильный химический состав, заданную структуру и высокие механические и служебные свойства в изделии.

В данной работе исследовали возможность использования сплава на железной основе, получаемого на ЗТМК при производстве титанового шлака в рудно-термической печи как конструкционного материала. С этой целью из полученных, в результате работы РТП, чушек сплава были отобраны образцы для химического анализа и металлографии.

Результаты химического анализа показали, что химический состав сплава является нестабильным, при этом его основу составляют следующие элементы: 0,7... 1,5 %С; 0,06... 0,08 %Si; 0,03... 0,05 %Mn; 0,07... 0,08 %Ni; 0,30... 0,45 %Cr; 0,2... 0,4 %P; 0,2... 0,3 %S, остальное Fe.

Методом металлографии проведен анализ макро- и микроструктуры сплава. Было выявлено, что макро-структура сплава содержала значительное количество газовых пор (~ до 5% от площади шлифа) и скопления крупных (50... 200 мкм) неметаллических включений, типа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; FeS; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (рис. 1).



**Рис. 1.** Микроструктура наружного слоя (а) и внутренней части (б) чушки из сплава на основе железа, полученного в РТП (× 800)

При исследовании микроструктуры сплава следовало учитывать, что большие габариты и масса (до 4 тонн) заливаемой в изложницы чушки значительно влияют на скорость ее охлаждения в различных ее частях, а следовательно и на величину зерна, и на фазовый состав. Микроструктурный анализ показал (см. рис. 1), что сплав во внутренних слоях чушки имеет крупнозернистую (2 балл зернистости по ГОСТ 5639-82) перлитную структуру с выделениями карбидов по границам зерен, а наружный слой чушки, вследствие более высокой скорости охлаждения, характеризовался мелкопластинчатым перлитом также с выделениями вторичного цементита по границам зерен в виде разорванной сетки. Известно, что такая структура не обладает высокими показателями прочности, пластичности, ударной и циклической вязкости разрушения.

Таким образом, можно заключить, что в первичном виде получаемый на ЗТМК в рудно-термической печи сопутствующий сплав на железной основе характеризуется нестабильностью химического состава и нежелательной макро- и микроструктурой, содержащей газовую пористость, скопления крупных неметаллических включений, выделения вторичного цементита по границам зерен. В связи с этим данный сплав в первичном виде не обладает высокими показателями механических и служебных свойств, а значит, не может быть использован как конструкционный материал. Следовательно, применение последующей металлургической переработки получаемого сплава для стабилизации химического состава и получения заданной макро- и микроструктуры является обязательным условием для дальнейшего использования сплава как конструкционного материала. При этом, себестоимость выбранного способа переработки будет определять экономическую целесообразность его применения.

По нашему мнению, одним из возможных путей улучшения структуры и свойств исследуемого сплава является его переплав в индукционной печи с применением модифицирующего комплекса для получения графитизированной стали, которая по данным [1, 2] является хорошим износостойким материалом и может быть использована для изготовления матриц брикетировочного пресса применяемого на ЗТМК для брикетирования титановой губки. С этой целью сплав полученный в РТП состава: 1,00%С; 0,58%Si; 0,05%Mn; 0,07%Ni; 0,45%Cr; 0,4%P и 0,2%S был переплавлен в индукционной печи с кислой футеровкой. В качестве раскислителей использовали алюминий АЛ1 и силико-

кальций СК30 в ковш. Необходимое содержание углерода (1,40 %) и кремния (1,60 %) в составе стали получали путем дошихтовки расплава в печи чугуном Л5 и ферросилицием ФС65. Отливку-заготовку матрицы брикетировочного пресса получали методом литья в сухие песчано-глинистые формы.

По средствам металлографического анализа полученной стали было установлено отсутствие газовой пористости в макроструктуре, при этом микроструктура сплава была представлена мелкопластинчатым перлитом с равномерно распределенными компактными графитовыми включениями.

Как показали результаты последующих натурных испытаний, наличие графитной фазы как смазывающего вещества в структуре сплава матрицы брикетировочного пресса снизило интенсивность налипания и схватывания пресуемой титановой губки на рабочую поверхность, тем самым уменьшило опасность образования задиров, появление которых является критерием снятия матрицы с эксплуатации. Для повышения износостойкости внутренняя рабочая поверхность матрицы предварительно была подвергнута индукционной закалке с последующим низким отпуском. После указанных технологических операций структура сплава на рабочей поверхности матрицы состояла из мелкоиглочатого мартенсита с равномерно распределенными компактными графитовыми включениями. При этом долговечность экспериментальной матрицы брикетировочного пресса превосходила долговечность матрицы, изготовленной из ранее применяемой для неё стали У10А на 30 %.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что сплав на железной основе, получаемый на ЗТМК при производстве титанового шлака в рудно-термической печи после переплава в индукционной печи и модифицирования может быть использован как конструкционный материал с высокой экономической эффективностью.

#### Список литературы

1. Жураковский В. М. Организация трансформируемой структуры и обеспечение заданных свойств графитсодержащей стали: автореф. дисс. на соискание научн. степени докт. техн. наук : спец. 05.02.01 «Материаловедение» / В. М. Жураковский. – Минск, 1985. – 40 с.
2. Тодоров Р. П. Структура и свойства отливок из графитизированной стали / Р. П. Тодоров, М. В. Николов. – М. : Металлургия, 1976. – 168 с.

Одержано 21.11.2012

#### **Акімов І.В. Перспективи застосування сплаву на основі заліза, що отриманий при виробництві титанового шлаку в рудно-термічній печі**

*Приведено можливість застосування як конструкційного матеріалу сплаву на основі заліза, що виплавляється у рудно-термічній печі при отриманні титанового шлаку. Використання сплаву після індукційного переплаву з економічним модифікуванням дало можливість виготовляти з нього матриці з високими експлуатаційними властивостями для брикетувальних пресів.*

**Ключові слова:** сплав на основі заліза, модифікування, графітізована сталь.

**Akimov I. Perspectives of iron-based alloy application, obtained during production of titanium slag in ore-thermal furnace**

*Possibility of iron-based alloy application as a construction material, melted in an ore-thermal furnace during titanium slag production has been shown. Alloy application after induction remelting with economic modifying has provided an opportunity to produce billets of the matrixes, having high operational properties and applied in briquetting presses construction.*

*Key words: iron-based alloy, modifying, graphitized steel.*

УДК 669.245.018: 620. 193.53

Канд. техн. наук А. Г. Андриенко, канд. техн. наук С. В. Гайдук,  
канд. техн. наук В. В. Кононов

Национальный технический университет, г. Запорожье

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТУ С НАПРАВЛЕННОЙ (МОНО) СТРУКТУРОЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

*Разработан литейный жаропрочный коррозионностойкий сплав на никелевой основе для направленной кристаллизации и монокристаллического литья, близкий по уровню механических свойств авиационным сплавам ЖС6К-ВИ и ЖС6У-ВИ с равноосной структурой и ЖС26-ВИ с направленной структурой. Отработан технологический процесс получения лопаток ТВД с направленной структурой двигателя Д-336.*

*Ключевые слова: жаропрочные никелевые сплавы, направленная (моно) кристаллизация, жаропрочность, структурная стабильность, технологичность, рабочая лопатка, газовая турбина.*

### Введение

В последнее время, в связи с проблемой конверсии авиационные конструкторские бюро и моторные заводы широко занимаются разработкой и производством стационарных энергетических и газоперекачивающих газотурбинных установок (ГТУ). В новых ГТУ, как и в авиационных ГТД, все шире находят применение турбинные лопатки с направленной и монокристаллической структурой. При этом, данные предприятия стремятся использовать ранее разработанные технологии и накопленный опыт по применению в качестве материала рабочих лопаток авиационные жаропрочные сплавы ЖС6К-ВИ, ЖС6У-ВИ, ЖС26-ВИ, ЖС32-ВИ [1]. Как показал опыт эксплуатации, данный класс материалов надежно работает в условиях высококачественных топлив при температурах 1000–1100 °С. В сульфидно-оксидной среде, возникающей при сгорании топлива в стационарных газовых турбинах, сплавы данного класса склонны к интенсивному коррозионному повреждению, для предотвращения которого применяются защитные покрытия. Известно, что необходимым условием высокой эксплуатационной надежности деталей ГТД является коррозионная стабильность внешней поверхности сплавов. Хотя на лопатки наносят различные за-

щитные покрытия, однако сопротивление газовой и солевой коррозии сплава-основы имеет большое значение, так как процессом, контролирующим ресурс работы деталей горячей части ГТД, при постоянных температурно-силовых параметрах, является высокотемпературная коррозионная стойкость (ВТК), приводящая к ускоренному повреждению рабочих лопаток и преждевременному выходу из строя лопаточного аппарата [2–4].

В ряде известных исследований [5–9] отмечается, что применение метода направленной кристаллизации (НК) к коррозионностойким сплавам, предназначенным для литья лопаток с равноосной структурой (IN-939, IN-738LC – за рубежом; ЧС-70, ЧС-88, ЗМИ-3У – в России), не вызывает заметного повышения их характеристик жаропрочности. Кроме этого, для данного класса сплавов не удается обеспечить достаточно высокого уровня выхода годного литья по макроструктуре.

### Постановка задачи

Цель настоящей работы – разработка литейного коррозионностойкого никелевого сплава для направленной (моно) кристаллизации с жаропрочностью, эквивалентной некоррозионностойкому авиационному