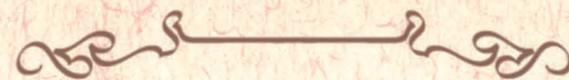


МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Научные чтения  
им. чл.-корр. РАН  
Ивана Августовича Бдинга*

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

*Программа*



*Сборник Материалов*



17-18 сентября 2020<sub>г</sub>

*Научные чтения им. чл.-корр. РАН  
Ивана Августовича Одингга*



**«МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

**ПРОГРАММА**



**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

*17-18 сентября 2020 г.  
ИМЕТ РАН*

УДК 531+531.01+531.7.08+53.09+53.08

ББК 22.37+22.31+22.21

M99

ISBN 978-5-6043996-4-4

M99 Научные чтения им. чл.-корр. РАН И.А. Одингга «МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ». Москва. 17-18 сентября 2020 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2020, 194 с.

## ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

- Лаборатория прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов

- Лаборатория конструкционных сталей и сплавов

Конференция поддержана:

□ группа компаний **ZwickRoell**

**Zwick / Roell**

Материалы публикуются в авторской редакции.

Сборник материалов доступен на сайте <http://odin.imetran.ru/>

ISBN 978-5-6043996-4-4



## **ВЛИЯНИЕ КАРБИДОВ НА СВОЙСТВА ТОНКИХ ЛЕНТ СПЛАВА HASTELLOY C-276, ПРИМЕНЯЕМОГО В ТЕХНОЛОГИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ВТСП МАТЕРИАЛОВ**

**Маркелова М.Н.<sup>1</sup>, Сабынина А.С.<sup>1</sup>, Филиппов Я.Ю.<sup>2</sup>, Кауль А.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*НИИ Механики МГУ имени М.В. Ломоносова*

Суперсплавы на основе никеля нашли широкое применение в различных областях промышленности благодаря своей превосходной прочности, высокой термической и коррозионной устойчивости, что позволяет использовать их при повышенных температурах и в агрессивных средах. Состав таких сплавов зачастую является очень сложным, что вызвано конкретными областями применения. Одним из примеров таких тугоплавких суперсплавов является Hastelloy C-276, в состав которого в качестве добавок входят хром, молибден, железо, вольфрам, а также другие элементы, включая углерод.

Прокатанные ленты сплава Hastelloy C-276 являются механической основой-подложкой для получения длинномерных высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов второго поколения. Важным требованием к подложке является низкая степень шероховатости поверхности (не более 2 нм), которая достигается соблюдением строгих условий технологии выплавки (температура, длительность отжига и закалка). Отклонение от данных норм приводит к образованию побочных фаз, в частности, карбидной природы. Роль карбидов в никелевых суперсплавах достаточно сложна. С одной стороны улучшаются прочностные характеристики сплава за счет выделения дисперсных частиц (дисперсионное упрочнение), а с другой стороны ухудшается качество поверхности, необходимое для ВТСП-технологий. Знание процессов превращения карбидных фаз для сплава Hastelloy C-276 необходимо при работе с лентами этого сплава, в частности в технологии ВТСП второго поколения.

В работе проведены исследования карбидных фаз в лентах сплава Hastelloy C-276 посредством высокотемпературных отжигов лент при различных температурах (900-1200 °С), длительности (0.5-8 часов) и парциальном давлении кислорода ( $1 \cdot 10^{-18}$  -  $1 \cdot 10^{-13}$  атм). Все эксперименты проводились в кварцевых реакторах в инертной атмосфере с последующей закалкой. Полученные образцы были охарактеризованы различными методами: сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, атомно-силовая микроскопия, рентгеновская дифракция, исследование прочностных характеристик.

Анализ поверхности лент после отжигов показал, что размеры поверхностных включений варьируются приблизительно от 10 нм до 1 мкм, также довольно разнообразна их форма, а размер зерна матрицы закономерно увеличивается с ростом температуры и длительности отжига. Методами РСМА и рентгеновской дифракции под скользящим углом доказана карбидная природа включений с преимущественным содержанием легирующих элементов, таких как хром, молибден и вольфрам. Для всех полученных образцов были получены диаграммы растяжения, определены пределы прочности, текучести, модуль Юнга и твердость по Виккерсу. Подтверждено, что с увеличением температуры отжига увеличивается размер зерна и понижается прочность сплава в соответствии с законом Холла-Петча.

Показано, что отжиг металлических лент суперсплава Hastelloy C-276 при 1150 °С в течение 30 минут приводит к полному растворению карбидов, тем самым улучшая шероховатость лент, однако при этом происходит значительное ухудшение механических характеристик, что является недопустимым для применения металлических лент Hastelloy C-276 в качестве подложек для нанесения на них буферных и сверхпроводящих слоев. Решением возникшей проблемы является повторная холодная прокатка лент сплава, позволяющая добиться значительного упрочнения материала.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

### **В СИСТЕМЕ КОРУНД-МОЛИБДЕН-ДУХФАЗНЫЙ АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ**

**Евдокимов В.Ю., Тюткова Ю.Б., Баринов С.М., Пруцков М.Е., Овсянников Н.А.,**

**Аладьев Н.А., Смирнов С.В., Лысенков А.С., Коновалов А.А., Гольдберг М.А.**

*Российская Федерация, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова*

*Российской академии наук, yutyutkova@imet.ac.ru*

Высокотемпературные композиционные конструкционные материалы (КМ) с высокими механическими свойствами, в частности, материалы на основе корундовой керамики, используются в различных областях техники [1]. В работе рассмотрен способ повышения механических свойств КМ на основе корундовой матрицы введением дисперсных фаз Mo, NiAl, Ni<sub>3</sub>Al.

Исходные порошковые материалы – алюмоаммиачными квасцами (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> x Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> x 24 H<sub>2</sub>O и парамолибдат аммония (8 – 10 мкм) смешивались из расчета содержания 3,16; 10,4 ; 19,13; 24 ; 28 % Mo в соединении Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Mo; прокаливались на воздухе при 1200 С в муфельной печи (4 -6 часов) до