

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности



Обзор рынка рения и его соединений в России, СНГ и мире

2 издание

Москва
февраль, 2019 г.

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/38/320>

Общее количество страниц: 80 стр.

Стоимость отчета – 96 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов ИНФОМАЙН, являются надежными, однако ИНФОМАЙН не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. ИНФОМАЙН приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустраняемых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. ИНФОМАЙН предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться. Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. ИНФОМАЙН не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. ИНФОМАЙН не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации. Информация, представленная в настоящем отчете, получена из открытых источников либо предоставлена упомянутыми в отчете компаниями.

Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения ИНФОМАЙН либо тиражироваться любыми способами.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн».

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	7
Введение	9
1. Краткая характеристика мирового рынка рения	10
1.1. Основные виды рениевой продукции, ренийсодержащих сплавов и вторсырья	10
1.2. Мировые запасы, мировое производство и потребление рения в 2007-2018 гг.	17
2. Минерально-сырьевая база рения в СНГ	23
2.1. Казахстан.....	23
2.2. Россия	24
2.3. Армения.....	25
2.4. Узбекистан	26
3. Производство рения в СНГ	27
3.1. Производство рения в России	28
3.1.1. <i>Производство металлического рения</i>	<i>29</i>
3.1.1.1. ОАО «Победит» (Р. С. Осетия)	29
3.1.1.2. ОАО «Гиредмет» (Москва)	31
3.1.1.3. Прочие производители металлического рения	31
3.1.2. <i>Переработка отработанных платино-рениевых катализаторов риформинга нефти.....</i>	<i>34</i>
3.1.2.1. ОАО «Красцветмет» (Красноярск)	37
3.1.2.2. ООО «Сибцветмет» (Екатеринбург)	38
3.1.2.3. Прочие	39
3.1.3. <i>Переработка отходов металлического рения и сплавов вольфрам-рений, молибден-рений и никель-рений.....</i>	<i>41</i>
3.1.3.1. ООО «Молирен» (Московская обл.)	41
3.2. Производство рения в Казахстане в 2000-2018 гг.....	44
3.3. Производство рения в Узбекистане.....	48
3.4. Производство рения в Таджикистане	49
3.5. Производство рения в Армении.....	50
4. Экспорт-импорт рениевой продукции в РФ (1998-2018 гг.).....	51
4.1. Объем экспорта-импорта рениевой продукции в 1998-2018 гг.....	51
4.1.1. <i>Экспорт-импорт перрената аммония.....</i>	<i>51</i>
4.1.1. <i>Экспорт-импорт металлического рения.....</i>	<i>52</i>
4.2. Направления экспортно-импортных поставок рениевой продукции в 2003-2018 гг.	53

4.3. Основные зарубежные поставщики и покупатели рениевой продукции в России	54
4.4. Основные экспортеры рениевой продукции России в 2003-2018 гг.	57
5. Цены на рений на мировом рынке. Средние цены на рениевую продукцию в РФ в 2003-2018 гг.	60
6. Баланс производства-потребления рения в России в 2010-2018 гг.	63
7. Потребление рения в РФ	64
7.1. Жаропрочные никелевые сплавы и сплавы рения с тугоплавкими металлами	64
7.2. Платино-рениевые катализаторы.....	66
7.3. Российская структура потребления рения	67
8. Прогноз российского и мирового рынка рения до 2025 г.	68
Приложение 1: Предприятия, закупавшие ренийсодержащую продукцию на электронных торгах в 2016-2018 гг., тыс. руб.	71
Приложение 2. Технологические основы извлечения рения из вторичного сырья и отходов.....	72
Приложение 3: Контактная информация производителей рения и его соединений в СНГ	79

СПИСОК ТАБЛИЦ

- Таблица 1. Качество рениевой продукции
- Таблица 2. Свойства рениевых сплавов
- Таблица 3. Физико-механические свойства сплавов рения с вольфрамом и молибденом
- Таблица 4. Химический состав жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) для монокристаллического литья турбинных лопаток
- Таблица 5. Мировые запасы рения, т
- Таблица 6. Мировое производство первичного рения в 2007-2018 гг., т
- Таблица 7. Структура мирового потребления рения в 2000-2018 гг., %
- Таблица 8. Химический состав металлического рения производства АО «Победит» (ТУ 48-19-92-88)
- Таблица 9. Размеры штабиков металлического рения и предельные отклонения от них
- Таблица 10. Финансовое состояние ЗАО «Промэлектроника» в 2007-2017 гг., млн руб.
- Таблица 11. Финансовое состояние ООО «Спецметаллмастер» в 2014-2017 гг., млн руб.
- Таблица 12. Финансовое состояние ООО «Сибцветмет» в 2015-2017 гг., млн руб.
- Таблица 13. Финансовое состояние ООО «Молирен» в 2012-2016 гг., млн руб.
- Таблица 14. Динамика российского экспорта-импорта перрената аммония в натуральном выражении в 1998-2018 гг., кг
- Таблица 15. Динамика экспорта-импорта металлического рения в России в 1998-2018 гг., кг
- Таблица 16. Направления импортных поставок перрената по странам в Россию в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 17. Направления экспортных поставок перрената аммония из России по странам в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 18. Поставщики в Россию перрената аммония в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 19. Российские получатели импортного перрената аммония в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 20. Российские экспортеры перрената аммония в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 21. Зарубежные получатели российского перрената аммония в 2003-2018 гг., кг
- Таблица 22. Среднегодовые цены на рениевую продукцию на спотовом рынке в 2007-2018 гг., тыс. \$/кг Re
- Таблица 23. Импортно-экспортные цены в РФ на перренат аммония в 2007-2018 гг., \$/кг
- Таблица 24. Расчет видимого потребления рения в России в 2010-2018 гг., кг Re
- Таблица 25. Перечень отечественных платино-рениевых катализаторов риформинга нефти

СПИСОК РИСУНКОВ

- Рисунок 1. Динамика «видимого потребления» рения в США в 2013-2018 гг., т
- Рисунок 2. Динамика потребления катализаторов риформинга нефти в России в 2010-2018 гг., тыс т
- Рисунок 3. Потребление катализаторов риформинга зарубежного производства российскими НПЗ в 2006-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 4. Динамика потребления рения в платино-рениевых катализаторах на российских НПЗ в 2010-2018 гг., т
- Рисунок 5. Динамика экспортных отгрузок перрената аммония производства ОАО «Красцветмет» в 2009-2018 гг., кг
- Рисунок 6. Динамика экспортных отгрузок перрената аммония производства ООО «Сибцветмет» в 2016-2018 гг., кг
- Рисунок 7. Динамика экспортных отгрузок перрената аммония производства ООО «Молирен» в 2009-2014 гг., кг
- Рисунок 8. Динамика импортных поставок перрената аммония в ООО «Молирен»/ООО «НКМ «Норд» в 2015-2018 гг., кг
- Рисунок 9. Динамика экспортных поставок перрената аммония из Казахстана в 2004-2018 гг. в пересчете на металл, т
- Рисунок 10. Динамика экспортных поставок перрената аммония из Узбекистана в Россию в 2012-2018 гг. в натуральном выражении, кг
- Рисунок 11. Динамика российского экспорта-импорта перрената аммония в натуральном выражении в 1998-2018 гг., кг
- Рисунок 12. Динамика цен на металлический рений на спотовом рынке в 2007-2018 гг, тыс. \$/кг
- Рисунок 13. Динамика потребления рения при производстве отечественных платино-рениевых катализаторов в 2010-2018 гг., т

Аннотация

Настоящий отчет является **вторым изданием** исследования рынка рения и его соединений в России, СНГ и мире.

Мониторинг рынка ведется с **1998 г.**

Цель исследования – анализ рынка рения и его соединений – мирового и российского, а также цепочек его передела в авиа-космической отрасли и катализаторной промышленности.

Объектами исследования являются ренийсодержащие руды, металлический рений, перренат аммония (калия, натрия), ренийсодержащие сплавы, катализаторы.

Настоящий обзор является наиболее полным среди представленных на информационном рынке по данной теме, и претендует на роль справочного пособия, поскольку рынок рения является весьма закрытым и статистика является неполной.

Использование данных без дополнительного тщательного анализа может привести к принятию ошибочных управленческих решений службами маркетинга и специалистами, работающими на рынке рения.

Отличительной особенностью настоящего исследования является то, что в нем представлен подробный анализ рынка рения и соединений в СНГ, что позволяет избежать ошибок, допущенных авторами аналогичных исследований, проведенных другими компаниями.

Второй отличительной особенностью настоящей работы является широта географических и временных рамок – проведен подробный анализ производства и внешнеэкономических операций с соединениями рения не только в России, но и в странах СНГ в период 2010-2018 гг.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные Росстата, Федеральной таможенной службы РФ и Казахстана, использованы материалы Государственной Геологической службы США (USGS), данные базы UNdata, отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, а также интернет-сайтов производителей рения и его соединений.

Хронологические рамки исследования: 1998-2018 гг.; прогноз – до 2025 гг.

География исследования: мировой рынок рассмотрен кратко, рынок Российской Федерации – детально.

Отчет состоит из **8** частей, содержит **80** страниц, в том числе **13** рисунков, **25** таблиц и **2** приложения.

Первая глава отчета посвящена мировому рынку рения. Дана информация по запасам по странам, производству и потреблению этого металла в 2007-2018 гг.

Во **второй** главе рассмотрена минерально-сырьевая база рения в СНГ. Более подробно описаны запасы в Казахстане, поскольку РК является крупным мировым производителем данного металла. По России даны краткие характеристики балансовых месторождений рения, а также перспективных сырьевых объектов.

В **третьей** главе приведены сведения о производстве рения и его соединений в России. Рассмотрены основные производители. Представлены ГОСТы и ТУ на производимую продукцию.

В **четвертой** главе анализируются внешнеторговые операции с рением и его соединениями в 1998-2018 гг. Приведены данные об объемах экспорта и импорта изучаемой продукции, оценена региональная структура поставок.

В **пятой** главе приведены сведения о мировых ценах на рений и его соединений на спотовом рынке в 2007-2018 гг. Кроме того дана динамика экспортно-импортных цен на перренат в России этот же временной диапазон.

Шестая глава отчета посвящена балансу производства-потреблений рения в России в 2010-2018 гг. Дана оценка «видимого» и реального потребления в РФ.

В **седьмой** главе отчета приведена структура потребления рения и его соединений по отраслям.

Восьмая глава отчета содержит прогноз производства и потребления рения и его соединений в России до 2025 г.

В адресной книге указана контактная информация производителей и потребителей рения и его соединений.

В **Приложении 1** приведены сведения по электронным торгам ренийсодержащими сплавами. В **Приложении 2** рассмотрены технологии по рециклингу сплавов и катализаторов.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка производства рениевой продукции – производители, потребители, трейдеры;

- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке ренийсодержащих соединений, сплавов и катализаторов.

Введение

Рений – последний из металлов, обнаруженный в природных минералах в начале XX века. Все открытые после рения металлы были получены только искусственным путем. При стандартных условиях рений представляет собой плотный серебристо-белый металл.

Рений – один из наиболее плотных и твердых металлов (плотность – 21,02 г/см³). По ряду физических свойств рений близок к тугоплавким металлам (молибден, вольфрам), а также металлам платиновой группы. По температуре плавления (3186°C) рений уступает только вольфраму.

Рений является единственным тугоплавким материалом, сочетающим высокую жаропрочность и низкотемпературную пластичность с высокой коррозионной стойкостью.

Рений – один из самых редких и рассеянных элементов, его содержание в земной коре равно $7 \cdot 10^{-8}$ %. Как изоморфная примесь рений присутствует более чем в 50 минералах-носителях, но его промышленные концентрации связаны, в основном, с молибденитом.

Собственные минералы рения (джезказганит и др.) из-за тонкой вкрапленности и больших трудностей выделения при обогащении руд самостоятельного значения не имеют.

Первичный рений получают в качестве побочной продукции при переработке молибденовых и некоторых медных концентратов. В общем балансе производства рения около 80% приходится на первичный рений, еще около 20% рения получают от переработки вторичного сырья – ренийсодержащих материалов и отходов производств.

Основным сырьем для производства первичного рения являются молибденовые концентраты, получаемые при обогащении руд меднопорфировых месторождений. На долю этого источника приходится более 80% мирового производства первичного рения.

В рудах меднопорфировых месторождений концентрация рения обычно не превышает 1 г/т, содержание рения в молибденовых концентратах составляет, как правило, 250-400 г/т.

При обжиге молибденовых концентратов рений накапливается в пылях и сернокислых растворах системы очистки газов, а также в маточных растворах от выщелачивания огарка. Извлечение рения из этих полупродуктов составляет около 90%.

В этом случае рений является «дважды попутным» продуктом.

Вторым по значению промышленным источником первичного рения являются месторождения медистых песчаников и сланцев – Жезказганское в Казахстане, месторождения в Польше и Германии.

1. Краткая характеристика мирового рынка рения

1.1. Основные виды рениевой продукции, ренийсодержащих сплавов и вторсырья

Основным и самым популярным видом рениевой продукции является перренат аммония (или аммониевокислый рений) – NH_4ReO_4 , который служит основным сырьем для выпуска металлического рения. Требования к качеству перрената аммония и металлического рения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Качество рениевой продукции

Элементы		Перренат аммония (ОСТ 48-71-1-90)		Металлический рений (ТУ 48-4-195-87)		
		AP-0	AP-1	Re-0	Re-1	Re-0C
Re	Min	69,0	69,0	99,9929	99,974	99,9929
Al	Max	0,0005	0,002	0,0005	0,001	0,0005
Ca	Max	0,001	0,003	0,001	0,005	0,003
Fe	Max	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,0005
Mg	Max	0,0002	0,002	-	-	-
Cu	Max	0,00005	0,001	0,0003	0,001	0,0001
Si	Max	0,001	0,002	0,003	0,01	0,003
Mn	Max	0,0001	0,002	-	-	-
Mg	Max	0,0002	0,002	-	-	-
Mo	Max	0,0005	0,01	0,0003	0,005	0,0003
Na	Max	0,001	0,002	0,0003	0,001	0,0003
Ni	Max	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,0002
S	Max	0,002	0,005	-	-	-
P	Max	0,001	-	-	-	-
K	Max			0,001	0,001	0,001

Источник: стандарты предприятий

Перренат аммония – белый кристаллический порошок. Перренат аммония удобен тем, что легко перерабатывается в другие формы рениевой продукции в соответствии с запросами рынка. Перренат аммония стабилен, удобен для хранения и транспортировки.

Перренат калия – редко выпускаемая соль рениевой кислоты. Перренат калия обычно переводится в перренат аммония, т.к. для производства металлического рения перренат калия использовать нельзя из-за жестких требований по калию в готовом металле;

Металлический рений может быть порошкообразным и компактным.

Порошкообразный рений получают водородным восстановлением перрената аммония. Перренат аммония перед восстановлением измельчают в покрытых резиной мельничных барабанах с измельчающими телами из обломков рениевых штабиков. Измельченную соль засыпают тонким слоем (6-8 мм) в лодочки из молибдена. Восстановление ведут в две стадии. Время пребывания лодочек в горячей зоне печи 1-2 ч. Порошки рения имеют средний размер 1-3 мкм (основная величина зерен меньше 2 мкм), их насыпная масса – 1,9 г/см³. Рений марок Ре-0 и Ре-1 поставляется в виде порошка, гранулометрический состав которого следующий:

- от 500 до 200 мкм – не более 50%;
- от 200 до 80 мкм – не более 30%;
- менее 80 мкм – не менее 20%.

Рений марки Ре-0С поставляют в виде порошка крупностью не более 50 мкм.

Компактный рений получают преимущественно методом порошковой металлургии. Порошки прессуют в стальных пресс-формах под давлением в прямоугольные *штабики*, плотность которых около 9,5 г/см³ (45% от теоретической плотности). После спекания в вакуумной печи, цель которого упрочение и удаление летучих примесей, плотность штабика увеличивается до 19 г/см³ (90% теоретической плотности). Спеченные штабики направляют на уплотнение ковкой и прокаткой на холоду с промежуточными отжигами. В результате получается компактный рений. Химический состав рения в штабиках должен соответствовать химическому составу рения в порошке.

Рений относительно легко поддается прокатке. Кроме способа порошковой металлургии для получения компактного рения применяют вакуумную плавку в дуговых и электронно-лучевых печах. Обычно на плавку поступают спеченные штабики.

Рениевая кислота представляет собой бесцветную жидкость. Концентрация рения – 1,3-1,5 г/мл, суммарное содержание металлических примесей – максимум 100 ppm. Кроме того, по заказу выпускается рениевая кислота особой чистоты с суммарным содержанием металлических примесей до 70 ppm. Рениевая кислота достаточно агрессивное вещество, неудобное для транспортировки. Может являться исходным сырьем для производства катализаторов.

Торговля рением на практике также включает такие его формы, как *металлический скрап* (отходы металлообработки), *отработанные катализаторы*, *ренийсодержащий молибденовый концентрат*, *ионно-обменные смолы, содержащие рений*, а также отходы производства медного и молибденового переделов.

Товарными ренийсодержащими продуктами являются жаропрочные никелевые сплавы и платино-рениевые катализаторы.

Уникальные свойства рения определяют эффективность легирования рением различных металлов и сплавов с целью повышения их пластичности, износостойкости и иных параметров.

Существует большое число двойных и многокомпонентных сплавов рения с различными металлами – сплавы типа никель-рений, вольфрам-рений, молибден-рений, никель-молибден-рений, никель-тантал-рений, никель-вольфрам-рений и ряд других.

В настоящее время наибольшее распространение по масштабам производства получили сплавы никель-рений, вольфрам-рений и молибден-рений, причем по некоторым свойствам сплавы рения с вольфрамом и молибденом превосходят свойства индивидуальных металлов. Такие сплавы обладают высокими механическими характеристиками при комнатной и повышенной температурах, формоустойчивостью и вибропрочностью, не охрупчиваются после кристаллизации, хорошо свариваются, образуя плотный пластичный шов. Их отличает высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах.

Сплавы рения применяют как конструкционный материал в различных условиях эксплуатации при высоких температурах (>1800°C) и напряжении, в качестве ответственных деталей электровакуумных устройств, материала электроконтактов, упругих элементов различных приборов и механизмов и т.п. Свойства рениевых сплавов с тугоплавкими металлами и никелем представлены в табл. 2, а в табл. 3 и 4 обобщены некоторые физико-химические свойства сплавов вольфрам-рений и молибден-рений.

Таблица 2. Свойства рениевых сплавов

Свойство	W-Re20	Mo-Re47	Ni-Re10	Ni-Mo15-Re10
T _{пл} °С	3100	2500	1490	1480
T _{рекр} °С	1500	1350	600	700
Временное сопротивление после деформации, Н/м ²	3,1·10 ⁹	(2,4-3,9)·10 ⁹	1,2·10 ⁹	1,9·10 ⁹
Коррозия, мг/мин:				
царская водка	-	-	0,95	3,35
HCl (конц.)	-	-	0,053	0,029
HNO ₃ (конц.)	-	-	0,18	0,41
H ₂ SO ₄ (48%)	-	-	0,03	0,008
NaCl (20%)	-	-	0,046	0,045
NaOH (20%)	-	-	0,045	0,035

Источник: специальная литература

Таблица 3. Физико-механические свойства сплавов рения с вольфрамом и молибденом

Показатель	Сплав Mo-Re (47% Re)	Сплав W-Re (27% Re)
Кристаллическая решетка	ОЦК	ОЦК
Плотность, г/см ³	13,3	19,8
Температура начала рекристаллизации, °С	1350	1500
Температура плавления, °С	2500	3000
Коэффициент линейного термического расширения, 10 ⁻⁶ •1/град (0-1000 °С)	6,4	5,6
Удельное электросопротивление, мкОм • см (20°С)	23	30
Температура перехода в сверхпроводящее состояние, К	10,9	4,2
Температура перехода в хрупкое состояние, °С	-254	75
Модуль нормальной упругости, кг/мм ²	36400	41600
Модуль упругости при сдвиге, кг/мм ²	14000	16200
Угол изгиба сварного шва, град	180	75-90

Источник: обзор научно-технической литературы

Таблица 4. Химический состав жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) для монокристаллического литья турбинных лопаток

Сплав	Содержание элементов, % (по массе)										Плотность, г/см ³
	Cr	Ti	Mo	W	Re	Ta	Al	Co	Nb	Hf	
Второе поколение монокристаллических ЖНС											
ЖС36	4	1,1	1,6	11	2	-	5,8	7	1,1	-	8,724
CMSX-4	6,5	1	0,6	6	3	6,5	5,6	9	-	0,1	8,7
Rene №5	7	-	2	5	3	7	6,2	8	-	0,2	8,63
SC180	5	1	2	5	3	8,5	5,2	10	-	0,1	8,84
SMP 14	4,8	-	1	7,6	3,9	7,2	5,4	8	1,4	-	-
PWA 1484	5	-	2	6	3	8,7	5,6	10	-	0,1	8,95
TMS-71	6	-	6,4	-	2,5	8,4	5,7	6	-	-	-
TMS-82 +	4,9	0,5	1,9	8,7	2,4	6	5,3	7,8	-	0,1	8,9
DD6	4,3	-	2	8	2	7,5	5,6	9	0,5	0,1	8,83
Третье поколение монокристаллических ЖНС											
Rene №6	4,2	-	1,4	6	5,4	7,2	5,75	12,5	-	0,15	8,97
Alloy 5A	4,5	-	-	5,75	6,25	7	6,25	12,5	-	0,15	8,91
CMSX-10	2	0,2	0,4	5	6	8	5,7	3	0,1	0,03	9,05
CMSX-10M	2	0,24	0,4	5,4	6,5	8,2	5,78	1,7	0,8	0,03	9,02
TMS-75	3	-	2	6	5	6	6	12	-	0,1	-
ЖС47	2,5	-	3,3*		9,3	14,6**		10,8	-	-	9,078
ЖС49	2,4	-	1,6*		12	14**		12	-	-	9,186
Четвертое поколение монокристаллических ЖНС											
MC-NG	4	0,5	1	5	4	5	6	0,2	-	0,1	8,75
TMS-138	2,9	-	2,9	5,9	4,9	5,6	5,9	5,9	-	0,1	8,95
TMS-162	2,9	-	3,9	5,8	4,9	5,6	5,8	5,8	-	0,1	-
ERM-102	2	-	2	6	5,95	8,25	5,55	16,5	-	0,15	9,2

Примечание: В первом поколении монокристаллических ЖНС рений не использовался

* - Mo + W ** - Al + Ta

Источник: обзор научно-технической литературы

Сплавы никель-рений применяют в авиации, используют в качестве кернов оксидных катодов, отличающихся повышенной надежностью и долговечностью. Легирование никеля рением приводит к улучшению его прочностных характеристик при сохранении пластичности.

В последние годы разработаны новые супержаропрочные ренийсодержащие никелевые сплавы с уникальными свойствами для рабочих лопаток и дисков авиационных и энергетических газовых турбин. Это три группы никель-рениевых сплавов:

1. Жаропрочные никелевые сплавы, содержащие 9-12% Re для изготовления рабочих лопаток турбин, работающих при температурах до 1100°C.

2. Интерметаллидные никелевые сплавы (2-4% Re) на основе соединения Ni_3Al для изготовления лопаток турбин, работающих при температурах до 1250°C.

3. Жаропрочные никелевые сплавы (1-2% Re) для изготовления дисков турбин, работающих при температурах 850-950°C.

Рениевые сплавы относят к материалам новой техники, значение которых постоянно возрастает. Спрос на них носит устойчивый характер, даже в условиях повышающихся цен и нестабильности рынка других металлов. Производство сплавов рения освоено в США, ФРГ, России, Великобритании, Франции, Японии, Польши и некоторых других стран.

Теоретической основой создания новых металлических сплавов является анализ диаграмм состояния фазовых равновесий и диаграмм состав-свойство, отражающих характер взаимодействия компонентов, фазовый состав и структуру сплава. В настоящее время изучено свыше 100 двойных и тройных диаграмм состояния сплавов на основе рения.

Институт металлургии им. А. А. Байкова выделил характерные особенности взаимодействия рения с переходными металлами, в зависимости от их положения в Периодической системе, структуры кристаллической решетки и ряда других факторов.

Так, при взаимодействии рения с металлами, стоящими справа от него в Периодической таблице (в восьмой группе) и имеющими заполненные *d*-оболочки, а также проявляющими высокую валентность, – металлические соединения не образуются. С металлами, имеющими гексагональную решетку (технеций, рутений, осмий), рений образует непрерывный ряд твердых растворов. С остальными металлами восьмой группы (никель, палладий, иридий, родий, платина) рений образует твердые растворы с ограниченной растворимостью. С переходными металлами третьей-шестой групп, находящимися слева от рения в Периодической таблице и имеющими незаполненные *d*-оболочки, рений образует сложные системы с одним или несколькими соединениями и одновременно ограниченные твердые растворы.

Исходя из закономерностей физико-химического взаимодействия и характера фазовых диаграмм, сплавы рения во всем интервале концентраций в двойных системах разбиты на 3, а в тройных системах – на 4 группы.

Например, сплавы первой группы двойных систем и первой и второй групп тройных систем расположены в областях твердых растворов на основе переходных металлов, таких как вольфрам, молибден, рутений, иридий, титан, цирконий, ниобий, тантал и др. Это наиболее перспективные группы сплавов рения для использования в качестве конструкционных материалов. Легирование перечисленных металлов рением позволяет получать сплавы с заданными свойствами. Сплавы первой и второй групп легко деформируются, из них можно получать различные изделия обычными методами обработки.

В области твердых растворов на основе рения располагаются сплавы второй группы двойных систем и третьей группы тройных систем. Это очень узкие области. Добавки даже небольших количеств переходных металлов вызывают значительные эффекты, влияющие на изменение свойств сплавов. В этой области можно получать высокоомные, катодные и другие сплавы.

Третья группа двойных систем и четвертая группа тройных систем – сплавы рения, представляющие химические соединения различных типов. Это группа твердых и хрупких сплавов. Обычными методами получить из них изделия и полуфабрикаты невозможно. Их можно использовать в компактном (литом) или порошкообразном состоянии в качестве материалов с особыми свойствами (полупроводников, сверхпроводников, эмиттеров и т.п.).

Наряду с анализом диаграмм состояния для создания широкой гаммы сплавов рения используют так называемый *ренийевый эффект*. Сущность этого явления заключается во влиянии рения на металлы шестой группы Периодической системы (хром, молибден, вольфрам). Добавки рения приводят к одновременному повышению прочности, пластичности и свариваемости сплавов, снижению температуры перехода в хрупкое состояние, отсутствию охрупчивания после рекристаллизации. Именно поэтому двойные и тройные сплавы рения с вольфрамом и молибденом играют заметную роль в общем объеме производства сплавов рения. Оптимальными составами таких сплавов являются твердые растворы, содержащие (20-30)% Re + (70-80)% W и (40-50%) Re + (50-60)% Mo.

Физическая природа и механизм рениевого эффекта не имеют пока однозначных объяснений. Очевидно, данный эффект определяется сочетанием ряда физико-химических и механических факторов.

Значительную часть сплавов с вольфрамом и молибденом получают традиционными методами порошковой металлургии, принятыми для изготовления индивидуальных полуфабрикатов из вольфрама, молибдена и рения. Кроме того, слитки рения и его сплавов с никелем, вольфрамом и молибденом получают также методами вакуумно-дуговой, электронно-лучевой или вакуумной индукционной плавки. При этом обеспечиваются высокая плотность получаемого сплава и его хорошее качество (высокая степень гомогенности, чистота).

Метод получения рениевых сплавов путем вакуумной плавки отражается в названии марки сплава добавлением специальной аббревиатуры – ВП (вакуум-плавленный). При получении сплава рения с другими металлами традиционными методами порошковой металлургии эти буквы к маркам сплава не добавляют. Например, вакуум-плавленный сплав рения с вольфрамом, содержащий 27% Re, записывают так: ВР-27 ВП, а металлокерамический сплав вольфрама с рением (20% Re) – ВР-20.

В настоящее время в промышленном масштабе налажено производство достаточно широкого ассортимента рениевых сплавов. Это двойные сплавы - вольфрам-рений (марки ВР-5, ВР-20, ВР-27 ВП), молибден-рений (МР-10, МР-20, МР-47 ВП), никель-рений (ЖС 32, НР-6 ВП, НР-10 ВП, НР-Л, НР-И), а также многокомпонентные сплавы – никель-молибден-рений (НМР-75), никель-хром-молибден-рений (К40НХМР) и ряд других.

Вторичное ренийсодержащее сырье и отходы можно условно разделить на три группы:

1. Отходы жаропрочных литейных сплавов на основе Ni-Re в виде окисленного скрапа, кусков с керамикой, пылей и т.п.
2. Отработанные катализаторы риформинга нефти на основе алюминий-платина-рений сплавов.
3. Отходы электронной промышленности на основе сплавов вольфрам-рений и молибден-рений, включая отходы металлического рения.

Переработка рениевых отходов, как и первичного рудного сырья, является многостадийным процессом, который сочетает, в зависимости от вида сырья, применение пирометаллургических (обжиг, спекание, окисление) и гидromеталлургических (выщелачивание, жидкостная экстракция, сорбция, осаждение) методов.

Технологические основы переработки ренийсодержащих отходов более подробно рассмотрены в Приложении 2.