

№ 2027

Л.М. Симонян  
А.Г. Фролов  
Е.Ф. Шкурко

# **Металлургические технологии переработки техногенного и вторичного сырья**

Курс лекций

**№ 2027**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра металлургии стали и ферросплавов

Л.М. Симонян

А.Г. Фролов

Е.Ф. Шкурко

# **Металлургические технологии переработки техногенного и вторичного сырья**

Курс лекций

Допущено учебно-методическим объединением по образованию  
в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
Металлургия



Москва 2011

УДК 504  
С37

Рецензент

д-р техн. наук, доц. *Е.П. Волынкина*

(ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»)

**Симонян, Л.М.**

С37      **Металлургические технологии переработки техногенного и вторичного сырья : курс лекций / Л.М. Симонян, А.Г. Фролов, Е.Ф. Шкурко. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 136 с.  
ISBN 978-5-87623-425-4**

Работа представляет собой лекции по курсу «Металлургические методы переработки техногенного и вторичного сырья». Показаны факторы воздействия металлургического производства на окружающую среду, рассмотрены меры предотвращения негативных последствий путем создания экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий. Рассмотрены источники образования промышленных отходов и дана их количественная оценка в зависимости от типа агрегата и применяемой технологии. Приведены способы экономии материалов и энергии, проведен сравнительный анализ существующих в мире малоотходных и ресурсосберегающих технологий производства металла.

Курс лекций освещает наиболее важные вопросы рационального использования техногенных и вторичных ресурсов, образующихся в металлургическом производстве, и способы их переработки и утилизации.

Предназначен для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Металлургия», профилю «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

Авторский коллектив: Л.М. Симонян – лекции 1–5, 7, 8, 12 и приложения 4–7, А.Г. Фролов – лекции 6, 9–11, Е.Ф. Шкурко – лекции 13–16 и приложения 1–3.

**УДК 504**

**ISBN 978-5-87623-425-4**

© Симонян Л.М.,  
Фролов А.Г.,  
Шкурко Е.Ф., 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общее введение .....	5
Введение в лекционный курс .....	16
Лекция 1. Состояние чёрной металлургии в мире и России. Тенденции развития .....	17
Лекция 2. Факторы воздействия металлургических предприятий на окружающую среду .....	22
Лекция 3. Пути снижения потребления природных ресурсов .....	30
Лекция 4. Ресурсосбережение как фактор технологической политики .....	35
Лекция 5. Новые ресурсосберегающие технологии выплавки стали в ДСП.....	40
Лекция 6. Источники формирования и характеристика металлургических шламов.....	48
Лекция 7. Пирометаллургические технологии переработки пыли и шламов.....	53
Лекция 8. Гидрометаллургические технологии переработки пыли и шламов.....	56
Лекция 9. Использование отходов в агломерационном производстве .....	59
Лекция 10. Утилизация отходов в доменной печи .....	64
Лекция 11. Переработка отходов в сталеплавильном производстве .....	70
Лекция 12. Методы утилизации электросталеплавильной пыли .....	74
Лекция 13. Отходы металлургического производства, переработка шлаков.....	81
Лекция 14. Энергетическая эффективность использования отходов производства.....	91
Лекция 15. Экономическая эффективность полной переработки шлаков .....	99
Лекция 16. Перспективные методы переработки некоторых твёрдых отходов .....	104
Библиографический список .....	108
Приложение 1. Основные понятия и принципы управления отходами .....	110
Приложение 2. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» .....	117

Приложение 3. Сведения об образовании, составе, использовании и размещении отходов НКМК на 2004 г. ....	118
Приложение 4. О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ .....	123
Приложение 5. Нормативы платы за сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты .....	131
Приложение 6. Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления.....	133
Приложение 7. Коэффициенты, учитывающие экологические факторы по бассейнам морей и рек (состояние водных объектов) .....	134

# ОБЩЕЕ ВВЕДЕНИЕ

## Вводная часть

*Цель курса:* сформировать представления о факторах воздействия металлургических технологий на окружающую среду и мерах предотвращения негативных последствий путём создания экологически безопасных и ресурсосберегающих технологий. Научить выявлять источники и оценивать количество образующихся отходов в зависимости от типа агрегата и применяемой технологии. Научить определять экологический ущерб от работы металлургических агрегатов и формулировать требования, позволяющие минимизировать технологические отходы и повысить энергоэкологическую эффективность производства. Особое внимание обращается на образование пыли, а также на возможные варианты её переработки и утилизации. Показать, что организация безотходной технологии в металлургии путём возврата в металлургические процессы шламов, пыли и других отходов, а также полной переработки шлака в попутную продукцию, повышает энергоэффективность производства и снижает себестоимость металлопродукции.

Материал сформирован так, чтобы можно было заменять лекции и лабораторные работы практическими занятиями, и наоборот, в зависимости от конкретных задач (в зависимости от состава учебной группы и решаемых задач).

*Практические умения и навыки:* умение осуществлять оценку и прогнозирование количественных и качественных показателей газообразных и твёрдых выбросов и образования отходов в зависимости от технологических условий металлургического процесса, в том числе определять их наиболее вероятный состав, а также производить оценку воздействия на окружающую среду и предлагать методы переработки и утилизации отходов производства.

# **1. Состояние чёрной металлургии в мире и в России, тенденции развития** *(4 часа)*

## **1.1. Экологическая характеристика металлургии мира и России**

Производство основных видов продукции. Динамика изменения производства стали в мире и России. Структура производства стали по странам. Причины спада и подъема производства. Сравнительные показатели потребления сырья и загрязнения окружающей среды по странам. Основные виды потребляемых природных ресурсов. Основные источники загрязнения атмосферы, водоёмов и почвы. Причины неблагоприятной экологической обстановки в крупных металлургических городах России.

## **1.2. Основные факторы воздействия металлургических предприятий на окружающую среду**

### **Загрязнение атмосферы**

Источники загрязнения атмосферы. Коксохимическое, агломерационное и доменное производства. Производство стали (мартеновское, конвертерное и электросталеплавильное). Выбросы вредных веществ в атмосферу по металлургическим переделам. Учёт смежных отраслей (производств), выбросов, связанных с транспортировкой сырья и металлургической продукции. Минимально достижимые выбросы по переделам. Источники регламентированных выбросов газов основных переделов металлургического предприятия.

### **Загрязнение водоёмов**

Водопотребление в чёрной металлургии. Расход воды на охлаждение оборудования, очистку газов и воздуха, гидротранспорт, обработку и отделку металла и прочие процессы. Безвозвратные потери. Условно-чистые стоки. Расход воды по видам металлургического производства. Источники образования загрязнённых сточных вод металлургического предприятия. Требования к качеству воды, используемой металлургическими предприятиями.

## **Образование твёрдых отходов**

Проблема образования, размещения и переработки промышленных отходов. Основные источниками образования отходов на металлургическом предприятии, общая характеристика, удельные показатели.Metallootходы и источники их образования. Структура образования лома. Проблема использования амортизационного лома при производстве стали. Другие виды отходов – шлаки, пыль, шлам и др. Источники загрязнения почвы.

### **1.3. Основные пути снижения потребления природных ресурсов**

Непосредственная экономия материалов и энергии; снижение потребления топлива; комплексное использование сырья и отходов; снижения потерь на всех стадиях добычи, производства, обработки и потребления металлов; использование экономичного оборудования и эффективной технологии; улучшение качества металла; создание безотвальных и безотходных технологий производств; повышение степени использования природных ресурсов, вплоть до пустой породы; ликвидация промышленных отходов; потребление вторичных ресурсов, рециклинг.

## **2. Современные экологически безопасные технологии и производства** *(4 часа)*

### **2.1. Основные тенденции развития экологически безопасных металлургических технологий**

Стратегия любого производства – создание промышленной экосистемы. Принцип подражания природе – превращение отходов одного производства в сырье для другого. Комплексы производств с замкнутыми потоками материалов. Рециклинг (переработка отходов) – основа современного производства и важное звено в решении проблемы истощения природных ресурсов и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Оборудование и технологии, обеспечивающие получение экологически чистых материалов. Стимулирование внедрения и развития ресурсосберегающих и природоохранных мероприятий (льготное налогообложение, ужесточение штрафов и др.).

Обзор лучших зарубежных и отечественных разработок по решению экологических проблем металлургического производства: проектные,



технологические и инженерные решения. Реструктуризация заводов, совершенствование существующих технологий и оборудования, разработка новейших технологий и стратегии охраны окружающей среды. Стратегия реструктуризации металлургических заводов фирмы «Ниппон стил» (Nippon Steel Corporation) и VAI (Voest-Alpine Industrienlagenbau): новые технологические и природоохранные разработки.

## **2.2. Новые ресурсосберегающие технологии выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП)**

Интенсификация металлургических процессов, минимизация потребления материалов и энергии, образования отходов и выбросов в окружающую среду и др.). Принципиально новые технологии, подавляющие образование вредных выбросов (оксидов азота, диоксинов и фуранов, цинксодержащей пыли). Мини-заводы фирм Nucor Steel, Badische Stahl Werke и др. Высокая производительность печей, использование новых технологических процессов. Oxigen Technology (кислородные или инъекционные технологии): продувка ванны кислородом; подогрев лома топливно-кислородными горелками; дожигание CO до CO<sub>2</sub> в пространстве ДСП. Снижение уровня шума. Борьба с выбросами диоксинов и фуранов. Дожигание газов, отходящих из дуговой сталеплавильной печи, утилизация тепла. Энергосбережение за счёт использования тепла отходящих газов для предварительного обогрева лома, замещения электроэнергии теплом, выделяющимся при дожигании CO и H<sub>2</sub> в печном пространстве, применения инъекционных технологий, вспенивания шлака. Полунепрерывный процесс Consteel – технологические и экологические показатели. Основные преимущества процесса Consteel (снижение негативного воздействия на окружающую среду, экономия энергии, снижение выбросов пыли). Совмещённые агрегаты.

## **3. Формирование и характеристика твёрдых отходов металлургического производства** *(2 часа)*

Общие сведения об источниках формирования отходов. Классификация отходов металлургического производства. Влияние металлургических технологий на удельное образование отходов. Характеристика основных видов отходов, источники образования, доля использования в собственном производстве (металлоотходы, шлаки, шламы, пыль и др.)

## **4. Технологии переработки пыли и шламов** (4 часа)

### **4.1. Пирометаллургические способы**

Процесс двухстадийного восстановления *цинка, свинца, кадмия*. Процесс одностадийного *получения цинка и свинца в металлическом состоянии*. Процесс переработки тонкодисперсной сухой пыли в циклонном реакторе в присутствии кислорода и кокса (или угля).

### **4.2. Гидрометаллургические способы**

Процесс получения кристаллов высокочистого оксида цинка. Процесс переработки электросталеплавильной пыли с алюмосиликатами, известью и другими добавками.

Пирогидрометаллургические способы. Процесс восстановления оксида цинка коксом или углем, получение оксида цинка повышенного качества. Процесс переработки цинксодержащей пыли в герметизированной дуговой печи.

Процессы стабилизации или стеклования не утилизируемой пыли. Процесс стеклования электросталеплавильной пыли путём расплавления и грануляции.

## **5. Использование металлургических отходов в собственном производстве** (8 часов)

### **5.1. Использование металлургических отходов при производстве окатышей и агломерата**

Использование конвертерного шлама. Получение высококачественного металлургического сырья из богатых (50...60 % Fe) шламов. Использование в качестве связующего высокоуглеродистой золы. Преимущества и недостатки замены бентонита на летучую золу. Повышение прочности окатышей при помощи бокситового красного шлама. Свойства красного шлама. Повышение прочности окатышей, экономия кокса. Утилизация шламов в качестве добавки к агломерационной шихте. Схемы обезвоживания шламов. Схемы подготовки пыли и шламов к утилизации в аглопроизводстве всех отходов кислородно-конвертерного цеха: шламов, известковой пыли, пыли аспирационных систем, отсевов извести и известняка, а также гранулированного конвертерного шлака. Особенности технологии химического обезвоживания шламов известковой пылью.

## **5.2. Утилизация отходов производства в доменной печи**

Утилизация прокатной окалины, сварочного шлака, чугунного скрапа, металлопродукта, сталеплавильных шлаков. Технологии утилизации отходов металлургического производства в составе шихты для доменных печей. Использование крупной прокатной окалины, отходов с высоким содержанием металлического железа (скрап, металлоконцентрат, металлоотсев, отмагниченные при переработке шлаковых отвалов). Использование конвертерных шлаков в шихте доменной плавки. Эффективность применения в доменной плавке конвертерного шлака. Использование брикетов в шихте доменной печи. Состав и свойства брикетов. Использование железокочковых брикетов на цементной связке, изготовленных из металлоотсева производства феррованадия и коксовой мелочи. Вдувание в доменные печи отходов производства (пыли, мелких частиц чугуна и железорудной мелочи и др.).

## **5.3. Ресурсосберегающие технологии переработки шламов и шлака в сталеплавильном производстве**

Технологии утилизации пыли и шламов в конвертерном производстве. Подготовка пыли и шламов для обработки жидкими сталеплавильными шлаками. Рециклинг цинка в кислородном конвертере. Схема циркуляции цветных металлов в сталеплавильных процессах. Длительность цикла.

## **5.4. Новые методы обработки и утилизации пыли ДСП**

Способы возврата окалины и пыли в электродуговую печь (процессы «Карбофер», J&L Specialty Steel Inc. и др.). Установка для обработки плавильной пыли фирмы Metals Recycling Technologies. Обзор процессов по переработке электросталеплавильной пыли с извлечением из неё цинка (NKK, «Крупн», Kawasaki Steel и др.).

## **6. Энергетическая эффективность использования отходов (8 часов)**

### **6.1. Отходы металлургического производства, переработка шлаков**

Дана терминология и классификация отходов в соответствии с существующими законодательными нормативными документами, а также представлена система управления отходами. Представлена структура и состав образующихся промышленных отходов на метал-

лургических комбинатах с полным циклом производства. Показано, что основным источником твёрдых отходов являются металлургические процессы. Охарактеризованы шлаки доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств и способы их переработки в сопутную товарную продукцию. Сделан анализ применяемых способов утилизации тепла огненно-жидких шлаков при их переработке в гранулированный шлак или шлаковый щебень.

## **6.2. Энергетическая эффективность использования отходов в доменном производстве**

Проблема использования техногенных отходов, касающаяся не только переработки самих отходов, но и общих энергетических затрат на производство металлопродукции. На примере использования конвертерных шлаков и углеродсодержащих твёрдых отходов в агломерационном и доменном производствах показано, что рециклинг данных материалов существенно сокращает потребление энергетических ресурсов.

## **6.3. Экономическая эффективность полной переработки шлаков**

Приведены примеры и технические решения по организации производства плавящего цементного клинкера из огненно-жидких доменных и сталеплавильных шлаков. При переработке металлургических шлаков в цементный клинкер и цемент достигается наибольшая экономическая эффективность утилизации твёрдых отходов производства.

## **6.4. Перспективные методы переработки некоторых твёрдых отходов**

Рассмотрены вопросы образования на металлургических предприятиях твёрдых отходов в виде лома огнеупорных материалов, золошлаковых отходов ТЭЦ и отходов углеобогащения. Приведены примеры возможной организации производства металлического магния из лома магнезитсодержащих огнеупорных материалов, а также получения комплексного ферросплава – ферросиликоалюминия из зол ТЭЦ и отходов углеобогащения.

## **Практические занятия**

*(16 часов)*

### **ПЗ 1. Определение количества пылегазовых выбросов в окружающую среду**

На основе удельных выбросов пыли и газов в атмосфере и годового объёма производства продукции по переделам рассчитать суммарные выбросы металлургического комплекса в атмосферу и сравнить с официальными данными.

### **ПЗ 2. Сравнительная оценка уровня негативного воздействия новых технологий на окружающую среду**

На основе удельных пылегазовых выбросов, потребления воды и сбросов в водоёмы, образования отходов и размещения их на полигонах и свалках, а также годового объёма производства продукции оценивается уровень негативного воздействия на окружающую среду по отдельным переделам и технологическим схемам производства.

### **ПЗ 3. Определение количества металлоотходов, образующихся и потребляемых в чёрной металлургии**

На основе данных о годовом объёме производства стали и расходных коэффициентах по отдельным переделам и технологическим схемам производства оценивается количество отходов в самом производстве, в обрабатывающей отрасли (машиностроении) и возвратный амортизационный лом.

### **ПЗ 4. Оценка коэффициента агрессивности пылевых выбросов**

Заданы состав пыли для разных агрегатов и методика расчёта эффективного значения коэффициента агрессивности. Коэффициенты агрессивности отдельных компонентов приведены в приложении учебных пособий № 302 и 318<sup>1</sup>. Оценить коэффициент агрессивности металлургической пыли для различных агрегатов и сравнить между собой.

Методику расчёта см. в учебном пособии № 302, задача 3 (с. 22). Металлургическая пыль содержит токсичные компоненты, которые делают её более опасной, чем обычная пыль. Поскольку состав пыли различных

---

<sup>1</sup> Даны библиотечные номера учебных пособий и лабораторных практикумов, изданных в МИСиС.