

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 90-летию Сибирского
государственного индустриального университета*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2019»

23 – 24 октября 2019 г.

*Труды
XXI Международной научно-практической конференции
Часть 1*

Новокузнецк
2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
МЕТАЛЛУРГИЯ КУЗБАССА: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Коротков С.Г., Фастыковский А.Р.</i>	4
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ <i>Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	9
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ <i>Фастыковский А.Р.</i>	14
ФЕРРОСПЛАВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В МИРЕ И РОССИИ <i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ёлкин К.С., Голодова М.А.</i>	20
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ <i>Козырев Н.А.¹, Шеченко Р.А., Протопопов Е.В., Крайко С.Н., Хомичева В.Е.</i>	33
85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ <i>Коротков С.Г., Темлянец М.В., Стерлигов В.В.</i>	44
МОЛИБДЕНОВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ : СЫРЬЕВАЯ БАЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ <i>Полях О.А., Комрони М.</i>	55
РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ <i>Лубяной Д.А., Мамедов Р.О., Князев С.В.</i>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКОВ РАФИНИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ <i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ходосов И.Е., Ёлкин К.С.</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛИБДЕНА, ЕГО СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ <i>Горлова А.А., Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	72
КОМПАНИЯ SINP – ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИНЖИНИРИНГЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Чжан Кэ</i>	78
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ <i>Павловец В.М.</i>	81
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ <i>Горлова А.А., Зерbach О.В., Галевский Г.В.</i>	90
ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ <i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Гордиевский О.И.</i>	94
ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО <i>Лысенко О.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.</i>	101

СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрени М.⁴, Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	110
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрени М., Макарычева Е.Г., Смит С.В.</i>	118
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ <i>Амелин А.В., Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.</i>	124
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ <i>Прошунин И.Е., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.</i>	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ КОНВЕРТЕРНОГО ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ <i>Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.</i>	133
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Mei Shingqi, Ри Э.Х., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Гаврилов Г.Н.</i>	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЕ <i>Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Mei Shingqi, Ри Э.Х., Базлова Т.А., Сметанюк С.В., Соколов А.А.</i>	146
МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Соколов Б.М.</i>	152
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ <i>Симачев А.С., Осколкова Т.Н.</i>	159
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ <i>Перетяшко В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.</i>	164
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ <i>Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С., Дорофеев В.В.</i>	170
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Фастыковский А.Р., Беляев С.В.</i>	175
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОЛОЧЕНИЕМ <i>Фастыковский А.Р., Чинкалов Е.В.</i>	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА И КОЛЕБАНИЙ ПОЛОСЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ <i>Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В.</i>	184

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ

Симачев А.С., Осолкова Т.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, simachev_as@mail.ru; osolkova@kuz.ru*

Аннотация. исследованы неметаллические включения рельсовой стали марки Э90ХАФ в разных зонах непрерывно-литой заготовки. Установлено, что в корковой зоне основными неметаллическими включениями являются силикаты железа и алюмосиликаты. В зоне столбчатых кристаллов идентифицированы алюмосиликаты и силикаты железа. В центральной зоне слитка выявлены сульфиды марганца (MnS), силикаты марганца, алюминия и железа.

Ключевые слова: рельсовая сталь, неметаллические включения, оксиды, силикаты, нитриды, сульфиды

RESEARCH OF NON-METALLIC INCLUSIONS OF THE RAILWAY STEEL E90KhAF

Simachev A.S., Oskolkova T.N.

*Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, simachev_as@mail.ru; osolkova@kuz.ru*

Abstract. This article is devoted to the research of the non-metallic inclusions of the railway steel E90KhAF in different zones of the continuously cast ingots. It is established that in the rim zone the main non-metallic inclusions are silicates of iron and aluminosilicates. In the zone of radial-columnar crystals identified aluminosilicates and silicates of iron. In the central zone of the continuous casting ingot is found sulfides of manganese (MnS), silicates of manganese, aluminum and iron.

Key words: railway steel, non-metallic inclusions, oxides, silicates, nitrides, sulfides

Количество, состав и распределение неметаллических включений – важные показатели качества сталей, определяющие их механические свойства и служебные характеристики. Среди всевозможных способов классификации включений общепризнано разделение их по происхождению и моменту образования. Эндогенные включения образуются при фазово-структурных превращениях в жидкой и твердой стали, а экзогенные привносятся в жидкость извне в результате разрушения футеровки сталеплавильного и разливочного оборудования, захвата частичек шихты, экзотермических смесей и шлаков [1 – 3].

Авторами работ [4 – 6] ранее изучена роль неметаллических включений в рельсовых сталях марок Э76, Э76Ф в процессе горячей пластической деформации. Целью данных исследований явилось получение сведений о неметаллических включениях в зонах непрерывно-литого заготовки (НЛЗ) рельсовой стали марки Э90ХАФ, которые в дальнейшем будут использованы при поиске новых и совершенствовании существующей технологии производства рельсовой продукции.

При исследовании корковой зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения рентгенографически выявлено наличие силикатов железа ($FeO \cdot SiO_2$), а также включения алюмосиликатов (рисунки 1 – 3).

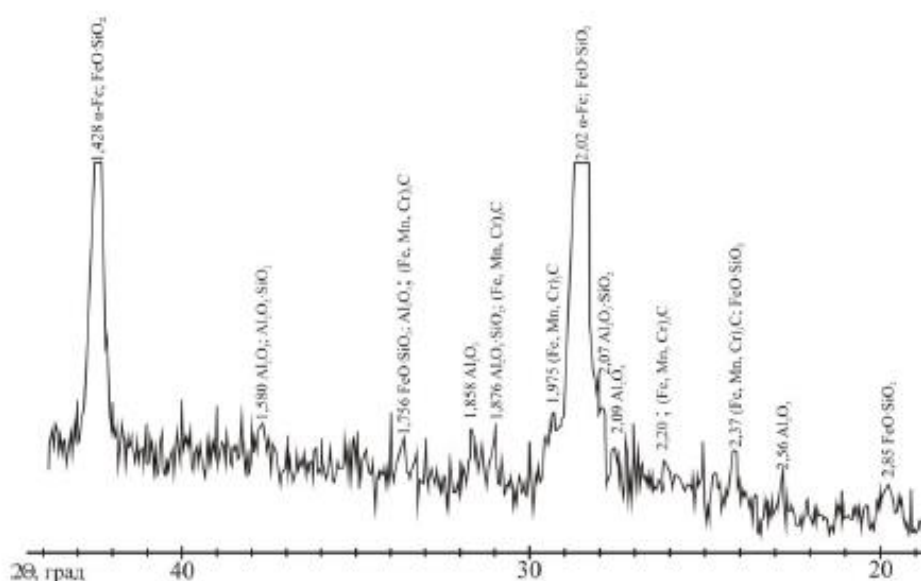


Рисунок 1 – Фрагмент дифрактограммы корковой зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ

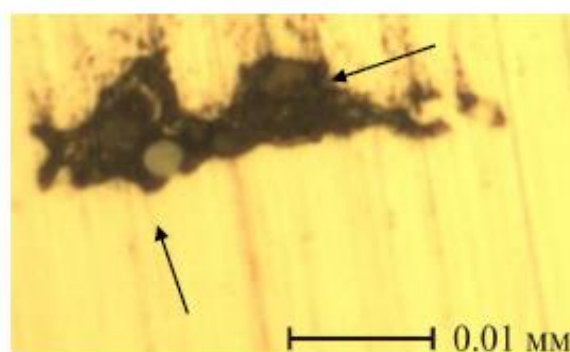


Рисунок 2 – Силикаты железа корковой зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения

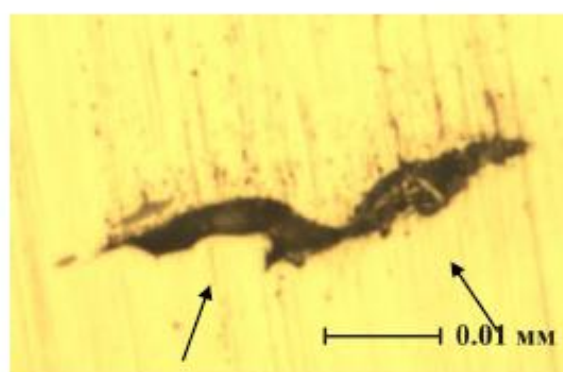


Рисунок 3 – Алумосиликаты корковой зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения

В зоне столбчатых кристаллов НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения идентифицированы рентгенографически алумосиликаты (рисунок 4). Металлографические исследования, помимо алумосиликатов (рисунок 5), выявили наличие силикатов железа (рисунок 6).

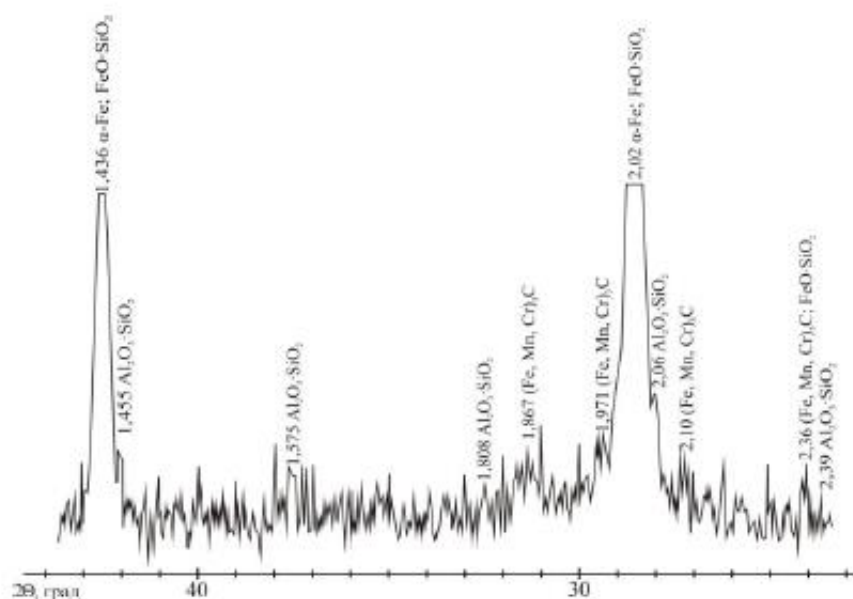


Рисунок 4 – Фрагмент дифрактограммы зоны столбчатых кристаллов НЛЗ стали марки Э90ХАФ

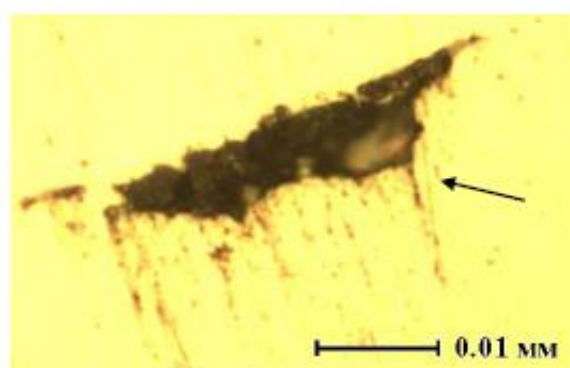


Рисунок 5 – Алумосиликаты в зоне столбчатых кристаллов НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения

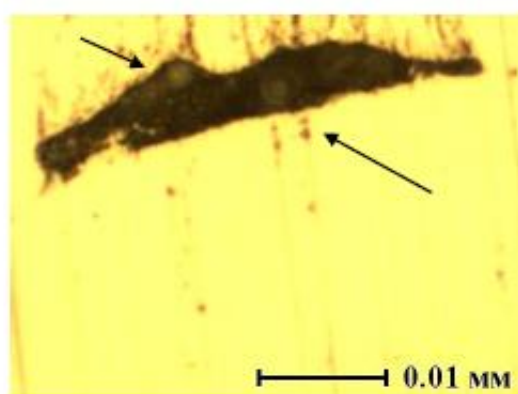


Рисунок 6 – Силикаты железа в зоне столбчатых кристаллов НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения

В центральной зоне НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения рентгенографически и металлографически выявлены сульфиды марганца (MnS), силикаты марганца, алюминия и железа (рисунок 7 – 9).

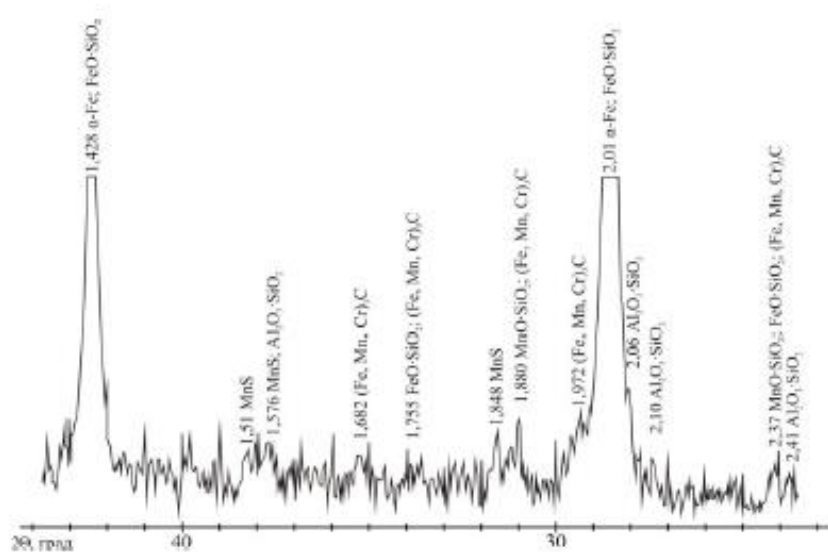


Рисунок 7 – Фрагмент дифрактограммы центральной зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ

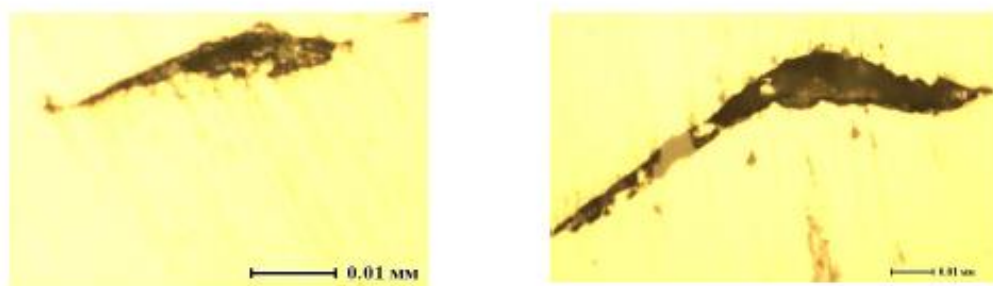
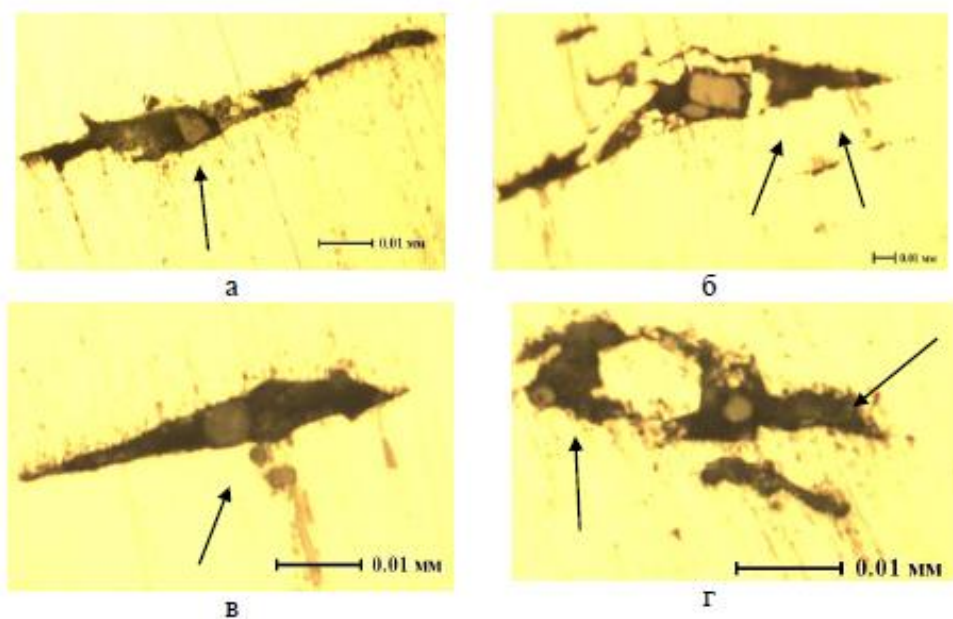


Рисунок 8 – Сульфиды марганца в центральной зоне НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения



а, б – силикаты алюминия и марганца; в, г – силикаты железа;

Рисунок 9 – Неметаллические включения центральной зоны НЛЗ стали марки Э90ХАФ после высокотемпературного кручения

Наличие недеформирующихся силикатов алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), силикатов железа ($\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) и марганца ($\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$), в местах нахождения которых могут образовываться нарушения целостности металла (рисунок 2, 3, 5, 6, 8, 9), будут способствовать локализации деформации и снижению показателей степени деформации сдвига.

Неметаллические включения, содержащиеся в стали, представляют собой набор концентраторов напряжений, величина которых зависит от типа и размера включения, температурно-скоростных условий деформации, соотношения физико-механических свойств включения и матрицы стали.

Неоднородность механических свойств стали может быть вызвана не только изменением количества включений, но и изменением их формы. В процессе обработки давлением пластичные силикатные и сульфидные включения вытягиваются в направлении деформации, а недеформирующиеся включения оксидов, силикатов и сложных шпинелей перераспределяются и образуют строчечные скопления, что способствует анизотропии механических свойств, которая проявляется, в основном, в показателях пластичности.

Двухфазные включения, состоящие из силиката и оксида или шпинели, проявляют неоднородную деформируемость. Силикатная фаза хорошо деформируется, вытягиваясь в направлении деформации (рисунки 3; 5), а корунд или шпинель, находясь в силикатной матрице, не деформируется.

Включения большинства оксидов и шпинелей в процессе высокотемпературного кручения хрупко разрушаются. При деформации образовавшиеся осколки включений поворачиваются вдоль оси кручения, при этом сглаживаются в результате сил трения на поверхности раздела.

Многофазные включения проявляют неоднородную деформируемость в зависимости от природы фаз. Они представляют собой частицы оксидов или шпинелей, заключенные в силикатную матрицу (рисунок 3, 5). Последняя пластически деформируется с металлической матрицей стали, а частицы оксидов не деформируются (частицы разрушенных огнеупоров, попавшие в сталь при выплавке), поворачиваются в силикатной матрице в направлении её течения, разрушаясь при высокотемпературной деформации.

Данные наблюдения распределения и поведения неметаллических включений при высокотемпературной пластической деформации не противоречат исследованиям неметаллических включений в сталях Губенко С.И., Старова Р.В., Парусова В.В., Деревянченко И.В. [7 – 10].

Необходимо отметить, что при пластической деформации на межфазных границах «включение-матрица» возникают деформационные и контактные напряжения, обусловленные различной деформируемостью включений и стальной матрицы. Включение и матрица составляют собой систему напряженного (включение) и пластичного (матрица) слоя с дислокациями на межфазной границе [10].

Таким образом, наличие различных видов и форм неметаллических включений в сталях позволяет прогнозировать технологическую пластичность и механические свойства сталей в целом.

Библиографический список

1. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Металлургия, 1991. – 225 с.
2. Старов Р.В. Разработка технологии производства чистой по неметаллическим включениям стали в комплексе дуговая сталеплавильная печь – установка печь-ковш – сортовая МНЛЗ / Р.В. Старов, В.В. Парусов, А.М. Нестеренко // Производство стали в XXI веке. Прогноз, процессы, технология, экология: Материалы Международной научно-технической конференции, Киев. – 2000. – С. 167–168.
3. Старов Р.В. Современная технология подготовки металла к непрерывной разливке / Р.В. Старов, Л.Ф. Литвинов, И.В. Деревянченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 8. – С. 25–27.
4. Simachev A.S. Influence of Nonmetallic Inclusions in Rail Steel on the High Temperature

Plasticity / A.S. Simachev, M.V. Temlyantsev, T.N. Oskolkova // Steel in Translation. – 2016. – Vol. 46. – № 2. – P. 112 – 114.

5. Симачев А.С. Изучение влияния неметаллических включений на высокотемпературную пластичность непрерывно-литой заготовки рельсовой стали Э76Ф / А.С. Симачев // Сб. науч. тр. IV Междунар. науч.-практич. конф. «Современные инновации в науке и технике». – Курск. – 2014. – Т. 4. – С. 101 – 103.

6. Симачев А.С. Влияние неметаллических включений на высокотемпературную пластичность непрерывно-литой заготовки рельсовой электростали / А.С. Симачев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 3-2 (22). – С. 63 – 64.

7. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Металлургия, 1991. – 225 с.

8. Старов Р.В. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р.В. Старов, И.В. Деревянченко, В.В. Парусов, А.Б. Сычков // Сталь. – 2005. – № 1. – С. 79–82.

9. Добужская А.Б. Изучение состава неметаллических включений в рельсах / А.Б. Добужская, Л.А. Смирнов, Н.В. Мухранов, М.С. Фомичев, Е.В. Белокурова // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 82–86.

10. Губенко С.И. Неметаллические включения в стали / С.И. Губенко, В.В. Парусов, И.В. Деревянченко. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2005. – 536 с.

УДК 621.73

МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ

Перетятко В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafkshp@sibsiiu.ru*

Аннотация. В работе проведено исследование деформированного состояния металла при двухстадийной протяжке круглой заготовки на плоских бойках.

Исследования показали, что при первом обжиме круглой заготовки со степенью обжатия $\varepsilon = 14,7\%$ деформация распространяется на всю высоту поковки, при этом имеются зоны с низким значением величины интенсивности деформаций. После второго обжима заготовки со степенью обжатия $\varepsilon = 22,7\%$, происходит накопление интенсивности деформаций по сечению заготовки, площадь зон с затрудненной деформацией уменьшается.

Для проверки адекватности компьютерного моделирования проведено физическое моделирование деформированного состояния металла.

Ключевые слова: ковка, протяжка, деформированное состояние, обжатие, плоские бойки, многостадийная протяжка, компьютерное моделирование протяжки, физическое моделирование.

THE MULTI-STAGE COGGING OF ROUND WORKPIECES IN FLAT DIES ON THE HYDRAULIC PRESS

Peretyatko V.N., Vahman S.A., Filippova M.V., Yurev A.B.

*Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, kafkshp@sibsiiu.ru*

Abstract. In this paper, a study on the deformed state of a metal in a two-stage drawing of a round billet on platens has been conducted.