

СВМ-генератор (структурно-волновой магниторезонансный)

В Перми разработан СВМ-генератор (Структурно-волновой магниторезонансный) для обработки расплава металла непосредственно в печи, а также деталей во время термообработки.

Принцип действия СВМ-генератора основан на резонансном отклике обрабатываемого расплава, находящегося в метастабильном состоянии, на низкоэнергетическое воздействие нестационарного магнитного поля слабого электромагнитного излучения с определенным спектром, в результате которого в металле наблюдаются структурно-фазовые изменения.

С применением волновой обработки проведено более 300 производственных плавов общей массой около 10000 т объёмом от 60 т до 400 т и свыше 300 производственных и опытных плавов на малых объёмах (50 – 280 кг).

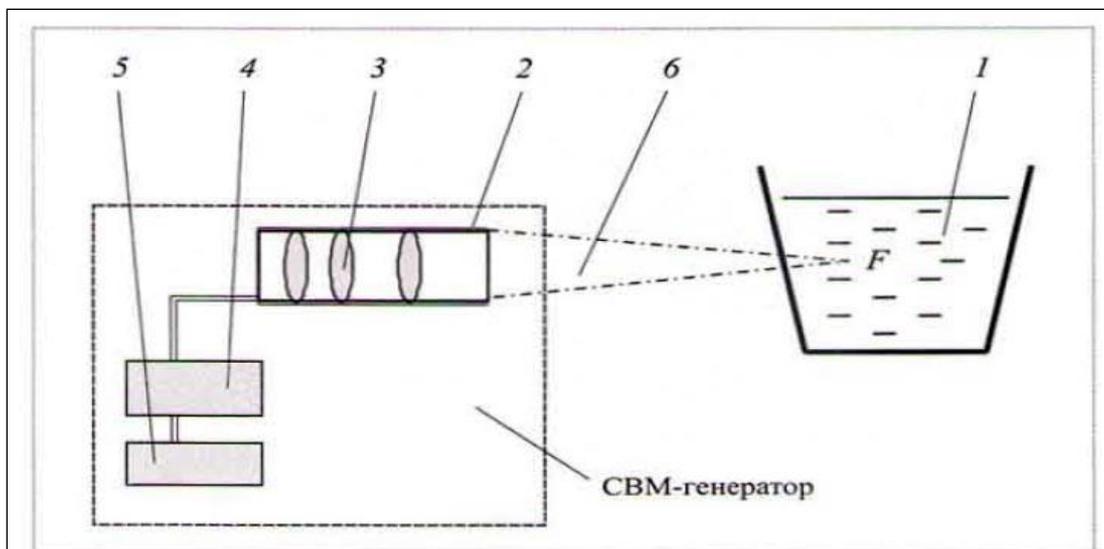


Рис. 1. Схема волновой обработки расплава:

1 — плавильная печь с металлом (ковш); 2 — направленный излучатель (волновой канал) СВМ-генератора; 3 — излучающий элемент; 4 — формирующий блок-модулятор с модификатором; 5 — блок питания; 6 — волновое излучение. Фокус F излучателя ориентирован внутри объема расплава. Волновая обработка расплава проводится сквозь стенку металлургической печи

Обработка расплава по СВМ-технологии.

- Как было установлено, характер воздействия генератора на расплавы существенно зависит от материала вещества, помещаемого в резонансную камеру блока-модулятора, т.е. от вещества-модулятора, являющегося виртуальным, или пассивным, модификатором металла. В качестве модуляторов использовали традиционные для металлургии легирующие и модифицирующие материалы: никель, хром, магний, марганец, редкоземельные металлы и др. Модулятор служит фильтром, модулирующим спектр излучения генератора. Модификатор может использоваться в том числе для снижения необходимой концентрации традиционных легирующих и модифицирующих материалов (магний, марганец, редкоземельные металлы) без потери физических свойств конечного продукта.

Инновационность технологии.

- Впервые в металлургии на промышленном производстве используется генератор на электромагнитной основе для облучения расплава металла, находящегося в промышленных печах ЭШП, ДСП и даже в индукционных печах, причем изменение свойств металла получается по всей глубине расплава, а не только на поверхности.
- Впервые в металлургии получены результаты, когда модификаторы не кладутся в расплав, а передаются свойства модификаторов резонансным способом, с помощью частот ЯМР металлов, при этом свойства металлов получаются лучше, чем при традиционном способе.
- **Абсолютно идентичные результаты были получены при термообработке металлов в процессе закалки, что значительно расширяет возможности использования СВМ-генераторов.**

За 20 лет развития технологии получили следующие результаты в металлургии:

- Сокращение времени термообработки сталей.
- Снижения литейного брака.
- Уменьшение зерна с 1-2 баллов до 5-9 баллов.
- Управления в определённых пределах химической активностью элементов стали для получения заданных свойств конечного продукта.
- Уменьшения карбидной неоднородности высокоуглеродистых сталей.
- Уменьшение полосчатости при прокате, вплоть до полного исчезновения.
- Увеличение пластичности сталей при сохранении прочности.
- Увеличение прочности при сохранении пластичности сталей.
- Увеличение ударной вязкости при -70°C до 100%.
- Уменьшение неметаллических включений от 2 до 5 раз.
- Увеличение механических характеристик прокатных валков из стали 45 на 15% без добавления в расплав редкоземельных модификаторов.
- Увеличение долгоживучести прокатных валков до 30%.
- Получения низколегированной стали 40ХМА со свойствами высоколегированной стали 34ХН3М, а также стали 35Л с свойствами 10ХН3МДЛ.
- Увеличение прочности чугуна СЧ25 до уровня СЧ40.
- Увеличение жаропрочности сталей.
- Увеличение разгаростойкости стали 25Х2М1Ф.
- Увеличение коррозионной стойкости стали SAF2205 в 3 раза.
- Увеличение длительной прочности авиационных лопаток из сплава ЖС6У до 2.5 раз.
- Увеличение предела прочности на растяжение силумина АК5 и АК12 в 2 раза.
- Увеличение прочности при разрушении Д16Т в 2 раза.
- Уменьшение ТКЧ прецизионных сплавов в 2 раза.
- Увеличение прочности на разрыв сплава ЭП678 на 28%.

В дальнейшем обработку черных металлов при помощи СВМ-генератора проводили по трём основным режимам:

«Антиферритный» режим – низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали (содержание углерода $< 0,8\%$), в том числе легированные, обрабатывали модулятором с использованием стабилизирующих аустенит элементов: марганец + никель + ниобий;

«Антикарбидный» режим – высокоуглеродистые стали и чугуны (содержание углерода $\geq 0,8\%$), в том числе легированные, обрабатывали модулятором с использованием элементов, повышающих растворимость углерода в железе: магний + марганец + редкоземельные элементы;

«Бейнитный» режим - жаропрочные высоколегированные стали и сплавы. Данный режим понижает критическую скорость охлаждения стали, повышает прокаливаемость низко - и среднеуглеродистых сталей.

Обработка расплава стали ведется двумя группами модификаторов. В первую половину времени плавки расплав обрабатывается по «антиферритному» режиму, с целью уменьшить количество феррита в литом металле. Во второй половине плавки используются модификаторы, состоящих из следующих хим. элементов: хром - вольфрам - молибден - бор – кобальт – (церий – иттрий - неодим).

При этом во всех режимах на формирующий блок-модулятор подавался сигнал с частотами ядерного магнитного резонанса вещества модификаторов.



Волновой излучатель СВМ-генератора устанавливали снаружи металлургической печи, рабочая зона генератора ориентировалась внутрь объема расплава.

Обработку расплава осуществляли сквозь стенку металлургической печи.

Направления работ

1. Изменения физических свойств металлов и полимеров.
2. Изменение микроструктуры металлов и механических свойств.
3. Повышение жаропрочности сталей и сплавов.
4. Повышение хладостойкости сталей и сплавов.
5. Уменьшение неметаллических включений.
6. Повышение коррозионной стойкости металлов.

7. СНИЖЕНИЕ БРАКА ДО 0%

8. Выплавка стали без добавления легирующих элементов при улучшении механических характеристик.

1. Изменения физических свойств металлов и полимеров.

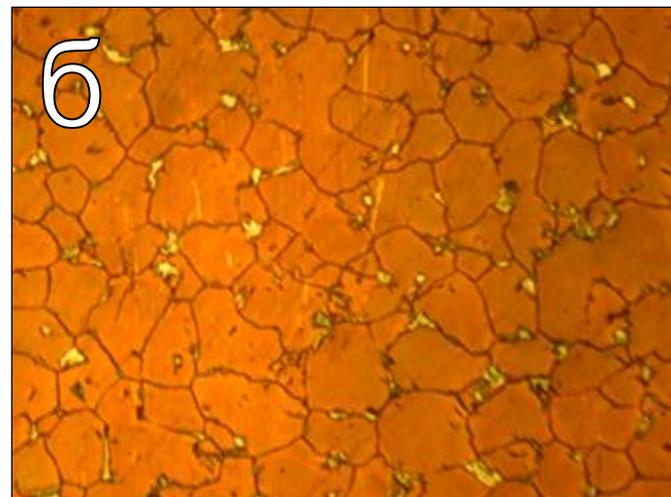
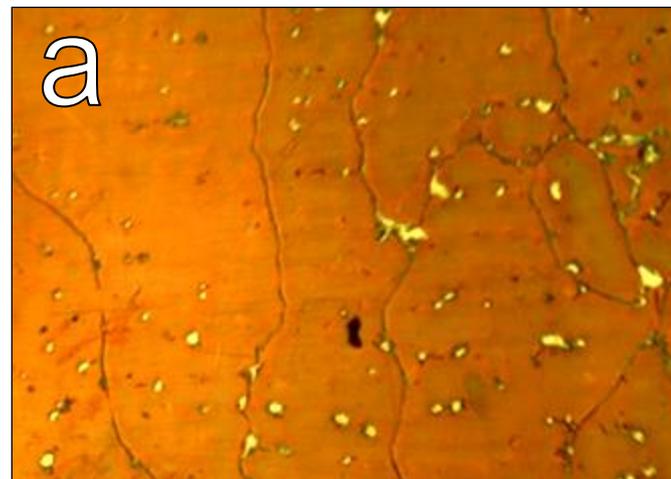
- 1.1 Уменьшение параметров кристаллической решетки.
- 1.2 Уменьшение ТКЧ (Температурного коэффициента частоты).
- 1.3 Уменьшение ТКЛР (Температурного коэффициента линейного расширения).
- 1.4 Увеличение ПТР (Показателя текучести расплава) полимеров.
- 1.5 Изменение кислотного числа химических жидкостей.
- 1.6 Увеличение электрической проводимости меди и алюминия.
- 1.7 Повышение коррозионной стойкости металлов.

2. Изменение микроструктуры металлов и связанных с нею механических свойств

- 2.1. Уменьшение зерна до 7-9 балла.
- 2.2 Увеличение предела прочности на разрыв до 100%.
- 2.3 Увеличение предела текучести до 50%.
- 2.4 Увеличение пластичности до 50% .
- 2.5 Увеличение прочности и пластичности одновременно.
- 2.6 Увеличение твердости и износостойкости.
- 2.7 Уменьшение количества неметаллических включение в разы.
- 2.8 Превращение пластинчатого графита в чугунах в точечный.
- 2.9 Возможно получение шаровидного графита из точечного.

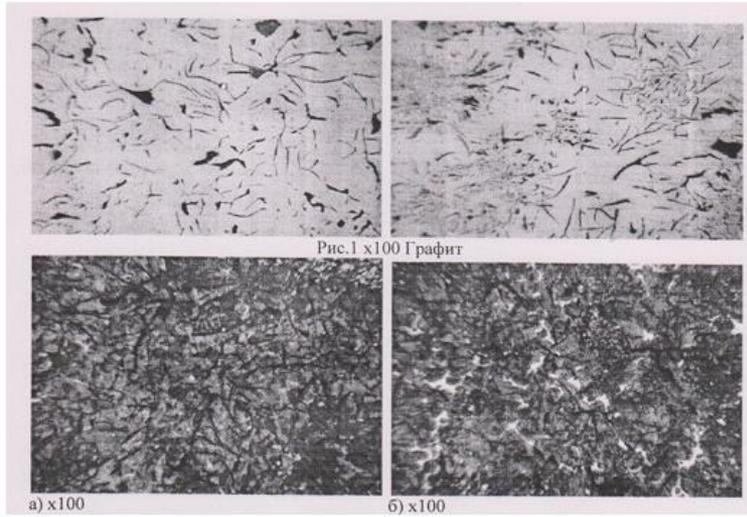
Примеры влияния волновой обработки на структуру и фазовый состав сталей и чугуна.

Характерным признаками СВМ-обработки стали является измельчение структуры (уменьшение величины зерна аустенита в среднем на 3–4 балла) и повышение ее однородности, в том числе равномерное распределение карбидов, что, как правило, ведет к повышению механических свойств минимум в 1,5 раза, а также к снижению анизотропии свойств. Результаты исследования позволяют утверждать о повышении пластических свойств стали при сохранении прочностных. У феррит - перлитных сталей наблюдаются изменения в фазовом составе в сторону увеличения количества перлита. Снижается химический градиент фаз, границы фаз становятся более размытыми. Наблюдается зависимость между измельчением микроструктуры и повышением механических свойств отливок (исключение составила сталь 110Г13Л), хотя отмечены и случаи повышения механических свойств после СВМ-обработки, без видимых изменений в структуре металла.

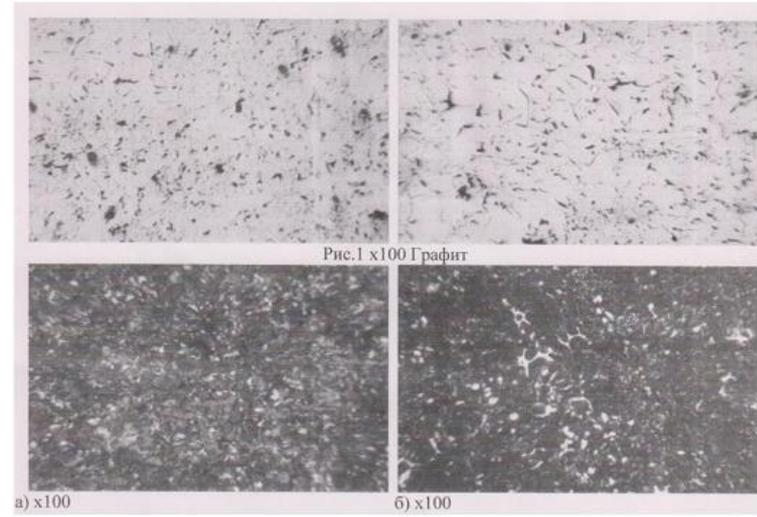


Микроструктура образцов стали 110Г13Л (x100)
а) – контрольный образец, аустенит, 0 – 1 балл
б) – после волновой обработки; наблюдается характерное измельчение размера зерна (4 – 5 балл), измельчение и более равномерное распределение карбидов

Чугун с пластинчатым графитом



Без СВМ-обработки



После СВМ-обработки

После СВМ-обработки (бейнит, отсутствие
полосчатости)

Микроструктура стали 20ХГНМ после прокатки

Без СВМ-обработки (феррит-перлит, явно
выраженная полосчатость)



Образец с ОРП (бейнит) x125



Образец без ОРП (феррито-перлит) x125

3. Повышение жаропрочности сталей и сплавов

Увеличение длительной жаропрочности:

- стали 25Х2М1Ф в 2 раза**
- сплава ЖС6У в 2.5 раза**
- сплава ЭП678 на 28%**

4. Повышение хладостойкости металлов

Увеличение ударной вязкости (КСУ)

стали 09Г2С при -70°C , на 100-600%

Относительно среднезаводских данных ООО «Кама-Сталь» 2008 г

5. Уменьшение неметаллических включений

5.1 Уменьшение неметаллических включений в СЧ25 в 5 раз

5.2 Уменьшение неметаллических включений в стали 20 в 2.5 раза

5.3 Уменьшение неметаллических включений в стали 20ХГНМ в 3 раза

5.4 Уменьшение неметаллических включений в стали 02Х22Н5АМ3 в 9 раз

6. Повышение коррозионной стойкости металлов

Увеличение стойкости к коррозии стали

02X22H5AM3 в 2.7 раза

Без СВМ-обработки



**После 65 часов в растворе
3%NaCl+0,5%H2O2**

После СВМ-обработки



**После 65 часов в растворе
3%NaCl+0,5%H2O2**

После СВМ-обработки



**После 168 часов в растворе
3%NaCl+0,5%H2O2**

Коррозионно-стойкий сплав АМЦ

7. Снижение брака

**7.1 ООО «Точлит» г. Пермь 2004-2008 гг.
сталь 10ХНЗМДЛ, челюсти для ключей КМБ.
Снижение брака с 15% до 0%.**

**7.2 ОРМЕТО-ЮУМЗ, г. Орск, 2006-2007 гг.
Было отлито 8500 т различной стали и чугуна.
По всем изделиям, отлитым из этого металла
Брак снизился до 0%**

**7.3 ПАО ПНППК, г.Пермь, 2019-2023 гг
Было обработано около 1000 шт деталей для гироскопов.
Брак снизился с 60% до 0%.**

8. Выплавка стали без добавления легирующих элементов при улучшении механических характеристик.

ОРМЕТО-ЮУМЗ, г.Орск, 2007г

Была проведена экспериментальная выплавка стали 45 для прокатных валков без добавления редкоземельных модификаторов.

Механические параметры стали увеличились на 16-20%

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВМ-технологии

- - получать материалы с заданными свойствами;
- - существенно снизить потребность в дорогостоящих легирующих добавках для изготовления сталей и сплавов;
- - увеличить сроки живучести авиационных лопаток в 2-3 раза;
- - увеличить выпуск хладостойких конструкционных сталей для нужд строительства в северных широтах;
- - решить задачу возврата в строй запчастей, превысивших срок хранения, путем СВМ-обработки во время нагрева под закалку или нормализации.
- - снизить массу конструкций космических аппаратов, самолётов, кораблей, и увеличить их полезную нагрузку;
- - вернуть былое качество артиллерийских стволов и даже превысить его;
- - увеличить стойкость корпусов летательных аппаратов к воздействию температуры и радиации;
- - получение рельсовой стали с минимальным коэффициентом термического расширения (для применения на высокоскоростных магистралях) и т. д.
- - решить задачу импортозамещения в производстве связующих для композитов, получая смолы российского производства с параметрами химической, тепло- и термостойкости равными или выше импортных аналогов, но дешевле по себестоимости.

Перечень заводов и институтов, где проводились исследования и получены отчеты:

Металлургическая отрасль:

- ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ», г.Орск
- ОАО «Тулачермет», г.Тула
- ОАО «Северский трубный завод», г.Полевской
- ОАО НЛМК, г.Липецк
- ООО «Точлит». г.Пермь
- ООО «Кама-Сталь», г.Пермь
- Арселор-Миттал, г. Кривой Рог, Украина
- Metallurgical plant, Кonya, Turkey

Предприятия ВПК:

- ОАО «Авиадвигатель», г.Пермь
- ПАО ПНППК, г.Пермь
- АО ПЗ «Машиностроитель, г.Пермь
- ООО «НовосибНИАТ», г.Новосибирск

Научно-исследовательские учреждения:

- ЦНИИТМАШ, г.Москва
- ВИЛС, г.Москва
- Физико-технический институт УрО РАН, г.Ижевск
- Научный центр порошкового материаловедения, г.Пермь
- Уральский Государственный Лесотехнический университет, г.Екатеринбург
- ОАО «Пермские полиэфир», г.Пермь
- ПГНИУ, г.Пермь

Контакты

А.Е.Бояршинов, директор ООО «Агрегат»

+7 342 209 98 77

+7 982 49 33 887

А.В.Главатских, зам. Директора ООО «Агрегат»

+7 922 34 59 821

svm-perm@mail.ru

г.Пермь, Россия