

ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

В. Ф. Панов, А. Е. Бояршинов,
А. Н. Ошмарин, О. В. Сандакова

**ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ
СВМ-ГЕНЕРАТОРА
НА МЕТАЛЛЫ И ПОЛИМЕРЫ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ
СВМ-ГЕНЕРАТОРА
НА МЕТАЛЛЫ И ПОЛИМЕРЫ**

МОНОГРАФИЯ



Пермь 2022

УДК 669-1
ББК 34.2
П165

Панов В. Ф.

П165 Эффекты воздействия СВМ-генератора на металлы и полимеры [Электронный ресурс] : монография / В. Ф. Панов, А. Е. Бояршинов, А. Н. Ошмарин, О. В. Сандакова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2022. – 4,16 Мб ; 60 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/mono/Panov-Boyarshinov-Oshmarin-Sandakova-Effekty-Vozdejstviya-SVM-Generatora-Na-Metally-I-Polimery.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3853-6

В монографии представлены результаты воздействия СВМ-генератора на расплавы металлов и полимерных материалов с 2002 по 2020 гг., а также результаты воздействия на металлы во время термообработки. Сделана попытка теоретических обоснований использования СВМ-генераторов в металлургии на основе реляционной физики, квантовой теории, реальной относительности.

Приведено множество примеров использования СВМ – генератора в металлургии, производстве полимеров и в биологии.

УДК 669-1
ББК 34.2

Издается по решению кафедры высшей математики

Пермского государственного национального исследовательского университета

Рецензенты: профессор кафедры теоретической физики имени Э. В. Шпольского Института физики, технологии и информационных систем МПГУ, д-р физ.-мат. наук, профессор **Б. Н. Фролов**;

старший преподаватель Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники» канд. техн. наук **В. А. Жигалов**

© ПГНИУ, 2022

© В. Ф. Панов, А. Е. Бояршинов,

А. Н. Ошмарин, О. В. Сандакова, 2022

ISBN 978-5-7944-3853-6

СОДЕРЖАНИЕ

§ 1. СВМ-генератор (по терминологии создателя технологии Курапова С.А. – «структурно-волновой магниторезонансный»).....	4
§ 2. Ряд гипотез, объясняющих действие СВМ-генератора на расплавы металлов и полимеров.....	6
§ 3. Примеры режимов установки для обработки черных металлов.....	8
§ 4. Результаты, полученные при изменении микро- и макроструктуры и улучшении механических свойств металлов и сплавов.....	10
§ 5. Инновационность технологии.....	11
§ 6. Примеры изменения физических свойств металлов.....	12
§ 7. Примеры влияния волновой обработки на структуру и фазовый состав сталей и чугуна.....	19
§ 8. Примеры изменения физико-механических свойств металлов.....	26
§ 9. Исследование влияния СВМ-технологии на жаропрочность сплавов...	34
§ 10. Применение СВМ-генератора при термообработке металлов.....	39
§ 11. Результаты влияния на полимерные вещества.....	48
§ 12. Биологические исследования.....	53
§ 13. Перспективы применения СВМ-технологии.....	55
Список литературы.....	56
Перечень организаций, где проводились исследования.....	58

§ 1. СВМ-ГЕНЕРАТОР

(по терминологии создателя технологии Курапова С.А. – «структурно-волновой магниторезонансный»)

В период с 1989 г. по 1991 г. в Институте проблем материаловедения АН Украины под руководством директора Института, вице-президента АН УССР, академика В. И. Трефилова коллективом, возглавляемым начальником отдела, доктором физико-математических наук В. П. Майбородой, был проведён цикл работ по изменению физико-химических свойств металлов при воздействии на расплавы металлов генератора на электромагнитной основе, разработанного А. Е. Акимовым. Были получены однозначные результаты воздействия данного генератора на расплавы металлов в состоянии перегрева. Отметим, что в тот же период Г. И. Шиповым была предложена «Теория физического вакуума» [1].

Нами с 2002 по 2020 год в условиях действующего производства были проведены исследования по обработке расплавов чёрных и цветных металлов и сплавов, используемых в машиностроении и авиастроении, генераторами на электромагнитной основе (СВМ-генераторами). Были получены результаты по изменению микро- и макроструктуры, что привело к существенному улучшению механических свойств металлов и сплавов [2-4]. В настоящей монографии излагаются как старые, так и новые результаты в этой области.

Принцип действия СВМ-генератора, по мнению создателя СВМ-генератора Курапова С.А., 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».

На рис. 1 изображена схема волновой обработки металлов с помощью СВМ-генератора.

Структурная схема СВМ-генератора

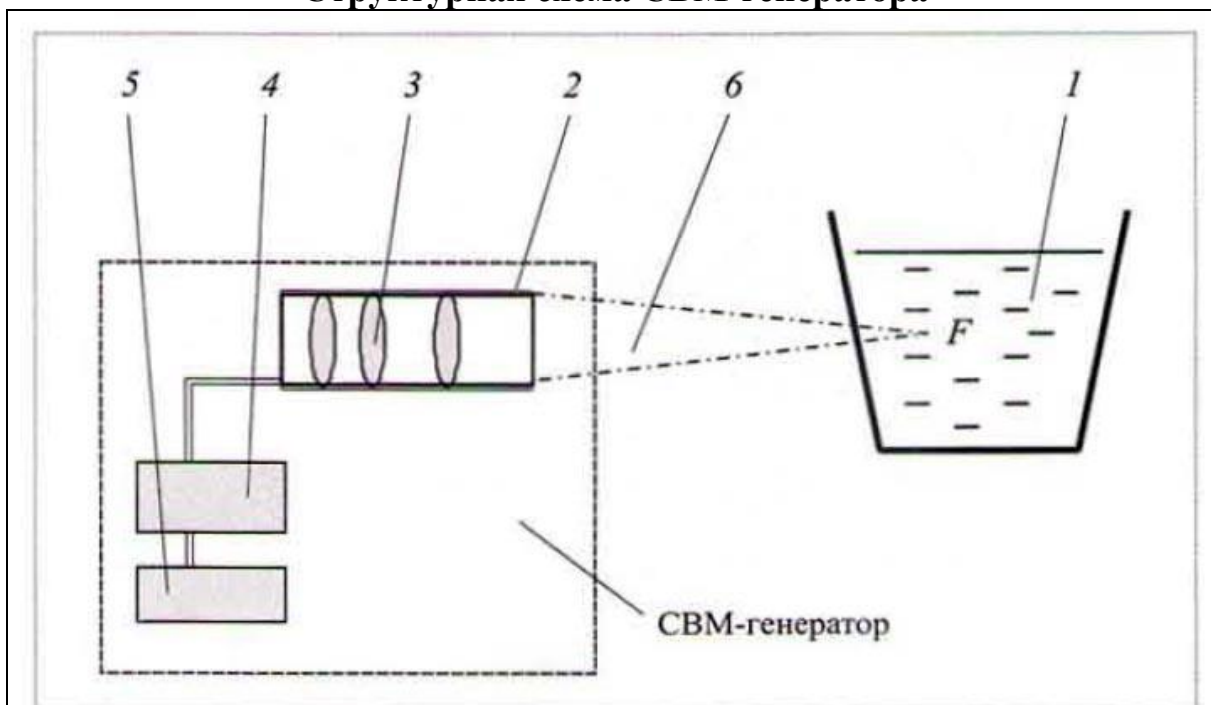


Рис. 1. Схема волновой обработки расплава:

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 внутрь объема расплава. Волновая обработка расплава проводится сквозь стенку металлургической печи

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: 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.

§ 2. РЯД ГИПОТЕЗ, ОБЪЯСНЯЮЩИХ ДЕЙСТВИЕ СВМ-ГЕНЕРАТОРА НА РАСПЛАВЫ МЕТАЛЛОВ И ПОЛИМЕРОВ

В настоящее время в физике ведутся исследования в рамках двух парадигм: *теоретико-полевой* и *геометрической*. Однако при этом не учитывается наличие третьей парадигмы – *реляционной*, основанной на идеях Лейбница, Маха и других мыслителей прошлого. В настоящее время созрели условия для пересмотра представлений о физической реальности на основе принципов реляционной парадигмы и тем самым открывается возможность взглянуть под новым углом зрения на ряд проблем современной физики.

В развиваемой группой Ю. С. Владимирова реляционной физике среди первичных понятий в принципе нет места для полей – переносчиков взаимодействий [5,6]. Это соответствует концепции дальнего действия, альтернативной теории поля. Ю. С. Владимиров развил и углубил теорию прямого межчастичного взаимодействия на основе реляционной концепции пространства–времени с использованием унарных и бинарных систем отношений [5].

В рамках последовательного реляционного подхода в [6] делается следующий вывод: поскольку в реляционной парадигме нет самостоятельной категории «пространство–время», а вместо неё выступает совокупность отношений между материальными объектами (зарядами), а кроме того имеется «море» испущенного, но ещё не поглощённого электромагнитного излучения, то возникают веские основания выдвинуть идею, что испущенное, но не поглощённое электромагнитное излучение участвует в формировании самой идеи пространственно-временных отношений. Даже высказывается в [6] более сильное утверждение, что именно испущенное, но не поглощённое электромагнитное излучение, ответственно за формирование классического пространства–времени.

В классической электродинамике электромагнитное поле сильно затухает в расплаве металла, а вот в бинарной геометрофизике Ю. С. Владимирова с учётом прямого межчастичного взаимодействия и «моря» испущенного, но ещё не поглощённого электромагнитного излучения, возможно, электромагнитное излучение СВМ-генератора может существенно влиять на электроны в расплаве металла и значительно влиять на процесс кристаллизации расплава металла. Этот вопрос требует специального рас-

смотрения. Кроме того, целесообразно проанализировать наши технологические эксперименты на расплавах металлов и полимеров в рамках реляционно-статистического подхода развития квантовой теории [6] с учётом принципа Маха.

Особого обоснования требует объяснение дистанционного воздействия в металлургии. Виртуальный перенос «информационных свойств металла–модификатора» на расплав требует специального рассмотрения. Для простейших квантовых систем проявляют себя квантовая нелокальность и квантовая запутанность. Видимо, в экспериментах на расплавах металлов (сложных системах) проявляет себя многочастичная квантовая запутанность (МКЗ). При этом действие СВМ-генератора следует описывать в рамках квантовой механики с учётом нелокальности и МКЗ. Информационная передача свойств металла-модификатора квантовым образом передаётся на расплав металла или полимера с учётом квантовой нелокальности. Этот вопрос требует более глубокого рассмотрения.

Далее отметим, что Губаревым Е.А. в работе [7] сформулированы уравнения электродинамики ориентируемой точки, основанной на принципе реальной относительности. В рамках предложенной в [7] теории предсказаны квазистатические свободные электромагнитные поля, имеющие неиндукционный характер и не возбуждающие никакой электродвижущей силы в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. Такие квазистатические поля должны иметь высокую проникающую способность в проводниках, так как по своей структуре они не производят никакой работы над свободными зарядами и, следовательно, не рассеиваются в проводниках. Квазистатические поля могут оказать влияние квантовым образом на эффект кристаллизации расплава металла. С этой стороны интересно исследовать СВМ-генераторы в отношении проявления таких полей.

Воздействие электромагнитного потенциала СВМ-генератора на полимеры на стадии, предшествующей полимеризации, вероятно, можно объяснить магнитно-спиновыми эффектами в химических реакциях [8, 9].

Отметим, что все эти подходы объяснения действия СВМ-генератора требуют квалифицированных теоретических и экспериментальных исследований.

§ 3. ПРИМЕРЫ РЕЖИМОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

«Антиферритный» режим. Низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали (содержание углерода $< 0,8\%$), в том числе легированные – использование комбинации стабилизирующих аустенит элементов: Mn – Ni – Cu – Nb. Данный режим уменьшает количество феррита в литом металле, разрывает сплошную ферритную сетку, уничтожает грануляционную структуру, уменьшает или полностью уничтожает видманштетт.

«Антикарбидный» режим. Высокоуглеродистые стали и чугуны (содержание углерода $\geq 0,8\%$), в том числе легированные, – использование комбинации повышающих растворимость углерода в железе элементов: Mg – Mn – (Y – La – Ne – Ce – Sm – Sc). Данный режим повышает растворимость углерода в аустените, уменьшает количество карбидов в литом металле и разрывает сплошную карбидную сетку. Он также придаёт округлую форму оставшимся карбидам.

«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, состоящие из следующих хим. элементов: Cr – W – Mo – V – Co – (Ce – Y – Ne).

На рис. 2 изображен СВМ-генератор, воздействующий на 300-киллограммовую вакуумную печь.

Воздействие СВМ-генератора на 300-кг вакуумную печь



Рис. 2. Воздействие СВМ-генератора на 300-кг вакуумную печь.

§ 4. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРЫ И УЛУЧШЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. Сокращение времени термообработки сталей.
2. Снижение литейного брака.
3. Уменьшение зерна с 1-2 баллов до 5-7 баллов.
4. Управление в определённых пределах химической активностью элементов стали для получения заданных свойств конечного продукта.
5. Уменьшение карбидной неоднородности высокоуглеродистых сталей.
6. Уменьшение полосчатости при прокате, вплоть до полного исчезновения.
7. Увеличение пластичности сталей при сохранении прочности.
8. Увеличение прочности при сохранении пластичности сталей.
9. Увеличение ударной вязкости при -70°C до 100%.
10. Уменьшение неметаллических включений от 2 до 5 раз.
11. Получение низколегированной стали 40ХМА со свойствами высоколегированной стали 34ХН3М.
12. Увеличение прочности чугуна СЧ25 до уровня СЧ40.
13. Увеличение жаропрочности сталей.
14. Увеличение разгаростойкости сталей типа 25Х2М1Ф.
15. Увеличение коррозионной стойкости стали SAF2205 в 3 раза.
16. Увеличение длительной прочности авиационных лопаток из сплава ЖС6У в среднем на 82%.
17. Увеличение предела прочности на растяжение силумина АК12 в 2 раза.
18. Получение свойств технического (нелегированного) титана на уровне легированного при термообработке.
19. Увеличение прочности сплава ЭП678 на 28% при термообработке.
20. Увеличение выхода проката стали 09Г2С 15 категории качества (-70°C) на 67%.

§ 5. ИННОВАЦИОННОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ

Впервые в металлургии используется генератор на электромагнитной основе для облучения расплава металла, находящегося в 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, 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.

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.

§ 6. ПРИМЕРЫ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Рентгено-структурный анализ стали 40ХМА

На рис. 3 и в таблице 1 показаны результаты изучения микроструктуры стали 40 ХМА под действием СВМ-излучения со следующими параметрами:

Таблица 1

Сталь 40ХМА	Средний диаметр блока когерентного рассеяния, Å	998±96 без СВМ	580±18 после СВМ
-------------	---	-------------------	---------------------

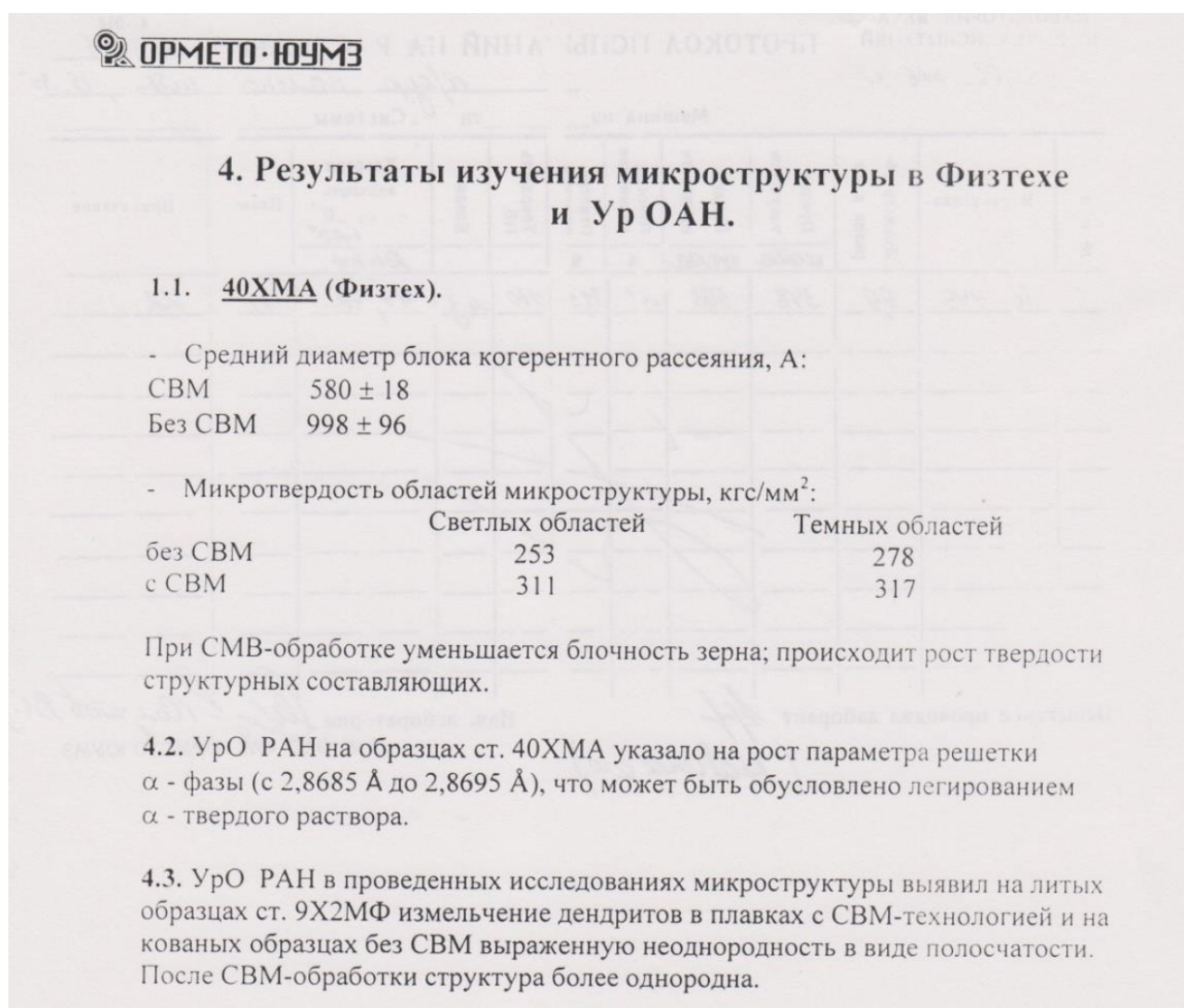


Рис. 3. Микроструктура стали 40 ХМА.

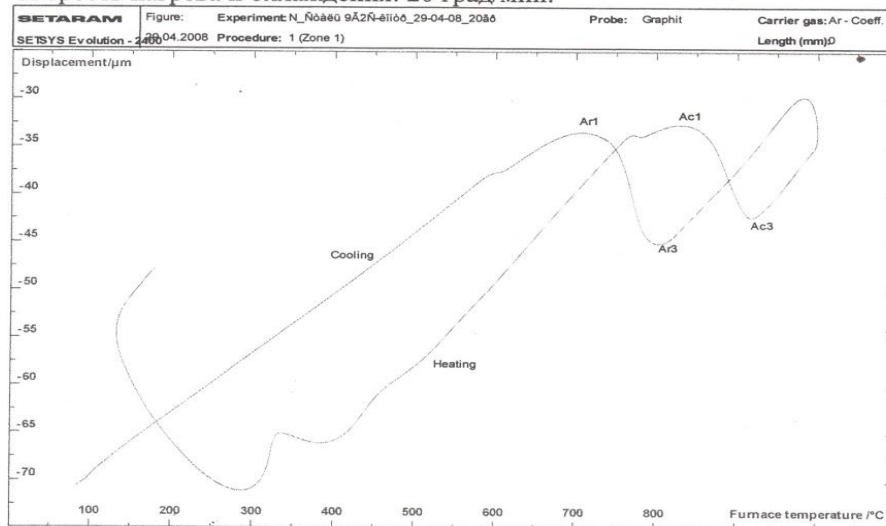
Изменение температур точек Ac1, Ac3, Ar1, Ar3 на диаграмме Fe-C сталей 09Г2С и 35Л

На рис. 4 и 5 изображены графики изменений в стали 09Г2С до и после обработки СВМ-генератором. Таблица 2 содержит основные характеристики образцов.

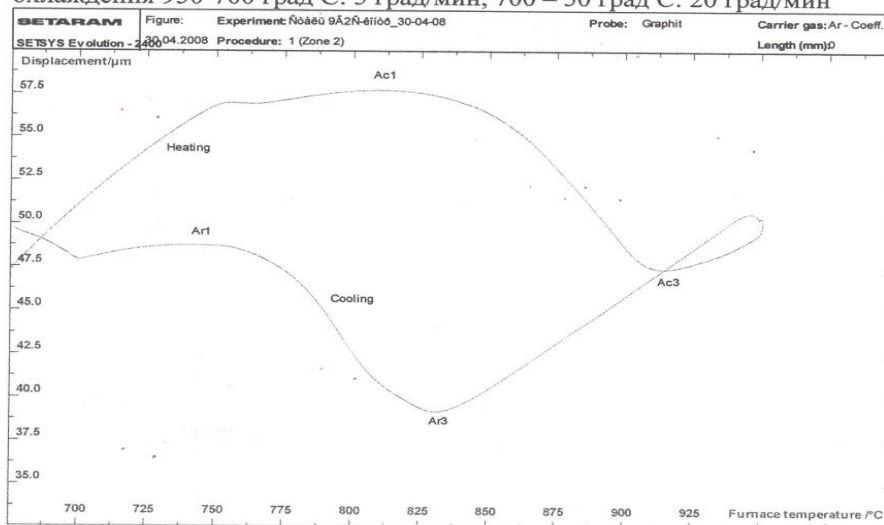
Таблица 2

Материал	Параметр	Без СВМ	После СВМ
Сталь 09Г2С низкоуглеродистая легированная	Точки Ac1, Ac3, Ar1, Ar3 на диаграмме Fe-C	Ac1=810°C Ac3=915°C Ar1=740°C Ar3=830°C	Ac1=752°C Ac3=905°C Ar1=705°C Ar3=783°C

Сталь 09Г2С, контрольный (необработанный).
Скорость нагрева и охлаждения: 20 град/мин.



Скорость нагрева: 42-600 град С: 20 град/мин, 600 – 950 град С: 5 град/мин, скорость охлаждения 950-700 град С: 5 град/мин, 700 – 50 град С: 20 град/мин



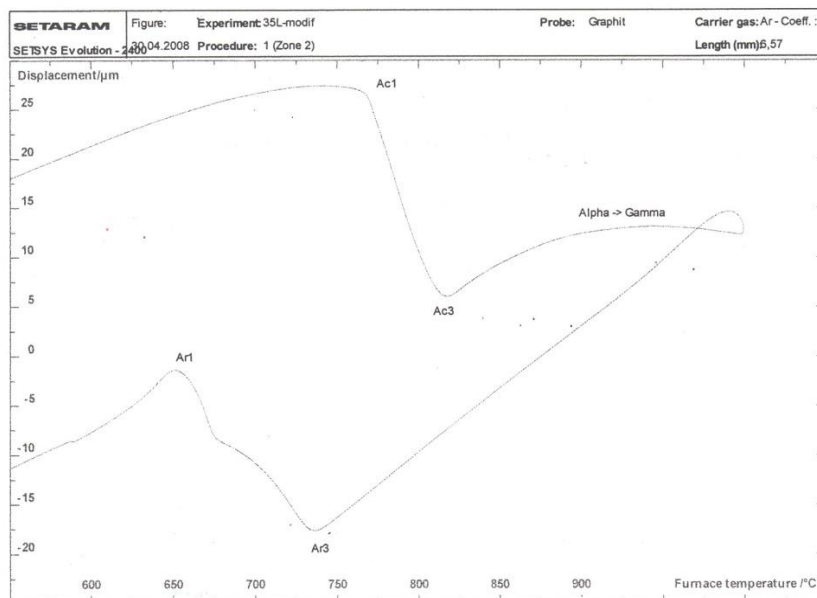
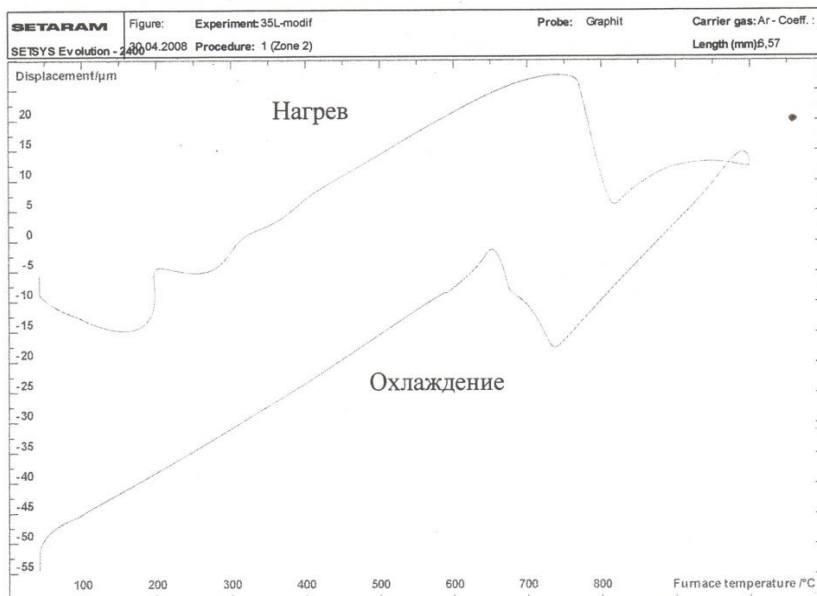
Экстремум при нагреве 810 град С – Ac1
Экстремум при нагреве 915 град С – Ac3
Экстремум при охлаждении 830 град С – Ar3
Экстремум при охлаждении 740 град С – Ar1

Рис. 4. Сталь 09Г2С, без СВМ-обработки.

На рис. 6 изображены результаты воздействия СВМ-генератора на сталь 35Л нелегированную. Параметры стали приведены в таблице 3.

Таблица 3

Материал	Параметр	Без СВМ	После СВМ
Сталь 35Л нелегированная	Точки Ас1, Ас3 на диаграмме Fe-C	Ac1=730°C Ac3=802°C Ar1=691°C Ar3=795°C	Ac1=740°C Ac3=818°C Ar1=650°C Ar3=736°C



Ac1: максимум при нагреве 740 град С, резкое уменьшение длины с 765 град С
 Ac3: 818 град С
 Ar3: 736 град С
 Ar1: 650 град С

Рис. 6. Сталь 35Л, после СВМ-обработки.

На рис. 7 и в таблице 4 показаны результаты испытаний образцов стали 08КП на коррозионную стойкость в соляном тумане.

Таблица 4

Сталь 08КП (подвесы мебельные)	После 6 часов испытания в соляном тумане, T +25°C.	
Образец №80	Красная ржавчина на 75% поверхности	Без СВМ-обработки
Образец №81	Красная ржавчина на 5% поверхности.	После СВМ-обработки
Образец №82	Красная ржавчина отсутствует полностью.	После СВМ-обработки
Образец №83	Красная ржавчина отсутствует полностью.	После СВМ-обработки



Рис. 7. Образцы стали 08КП.

Стойкость к коррозии стали 02X22H5AM3

На рис. 8 показана скорость коррозии стали 02X22H5AM3 после обработки СВМ-генератором. Характеристики образцов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Сталь 02X22H5AM3	Скорость коррозии, мм/год	10,69 без СВМ	3,95 после СВМ
------------------	---------------------------	---------------	----------------

А. Металл, выплавленный без воздействия на плавочную ванну «резонансных полей»

Состояние металла	Температура испытания, °С	Состояние поверхности образцов: наличие, характер питтинговой коррозии	Показатели скорости коррозии, средние значения по результатам испытаний двух образцов.	
			г/м ² кг	мм/год
После ковки слитков на пластины	20	Видимых очагов ПК не наблюдается	0,40	0,45
	30	Мельчайшие очаги ПК классического вида	0,80	0,90
	45	Участки интенсивной питтинговой коррозии под крышечкой	12,50	14,0
После термообработки пластин (1080°С, 30 мин вода)	30	Мельчайшие единичные очаги ПК классического вида	0,45	0,50
	45	Участки интенсивной ПК под крышечкой	9,50	10,69

Б. Металл, выплавленный в условиях воздействия на плавочную ванну «резонансных полей»

Состояние металла	Температура испытания, °С	Состояние поверхности образцов: наличие, характер питтинговой коррозии	Показатели скорости коррозии, средние значения по результатам испытаний двух образцов.	
			г/м ² кг	мм/год
После ковки слитков на пластины	20	Видимых очагов ПК не наблюдается	0,25	0,28
	30	Мельчайшие очаги ПК классического вида	0,45	0,50
	45	Участки интенсивной питтинговой коррозии под крышечкой	5,50	6,20
После термообработки пластин (1080°С, 30 мин вода)	20	Видимых очагов ПК не обнаружено	0,25	0,28
	30	Мельчайшие единичные очаги ПК	0,40	0,45
	45	Участки интенсивной ПК под крышечкой (тоже, что на нетермообработанных образцах)	3,50	3,95

Рис. 8 Сталь 02X22H5AM3

Увеличение удельной электрической проводимости сплава АМГ6

На рис. 9 изображена удельная электрическая проводимость слитков сплава АМГ6, отлитых до и после обработки СВМ-генератором. Основные характеристики сплава приведены в таблице 6.

Таблица 6

Сплав АМГ6	Электрическая проводимость, γ МСм/м	10,72 без СВМ	13,05 12,82 после СВМ
------------	--	------------------	--------------------------

Удельная электрическая проводимость γ слитков, отлитых в обычных условиях и после волновой обработки расплава, и отожженных листов

Сплав	№плавки	Модификаторы, применяемые при волновой обработке	γ , МСм/м	
			Слиток	Лист
А99	01	-	37,0	37,55
	1	Sc, Zr, B	36,9	37,55
	2	Zr, Mo, Nb, Mg, Ag	37,1	37,55
	10	Плексиглас, Sc	37,1	37,2
АМГ6	02	-	10,72	15,05
	3	Sc, Zr	13,05	15,0
	4	Zr, B, Cd, Cr	12,82	15,1
Al-0,2%Sc-0,1%Zr	03	-	29,5	35,65
	5	Mg, Cu, Ag	29,5	35,25
	6	Mg, Sc, Cu, Zr, Ag	29,8	35,45
Al-18%Si	04	-	-	25,0
	7	P, Cu, Ag	-	25,45
	8	P, S, Ti, B	-	25,2

Рис. 9. Сплав АМГ-6.

Изменение кислотного числа отработанного масла

Таблица 7

Отработанное масло	Кислотное число, мгКОН/г	1,88 без СВМ	0,77 после СВМ
--------------------	--------------------------	-----------------	-------------------

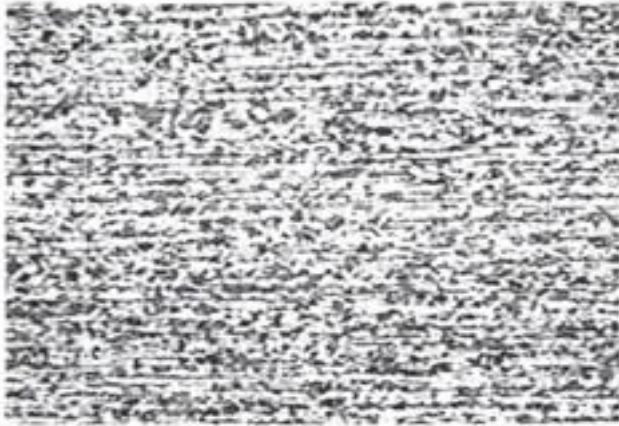
Изменение температуры плавления и ПТР полипропилена

Таблица 8

Полипропилен	Температура плавления	156 °С	146 °С
	ПТР (показатель текучести расплава)	0,97 г/10 мин	>10г/1 с

§ 7. ПРИМЕРЫ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СТАЛЕЙ И ЧУГУНА

На рис. 10 и рис. 11 изображена микроструктура стали 20ХГНМ и 10ХНЗМДЛ до и после СВМ-обработки:



Образец без ОРП (феррито-перлит) x125

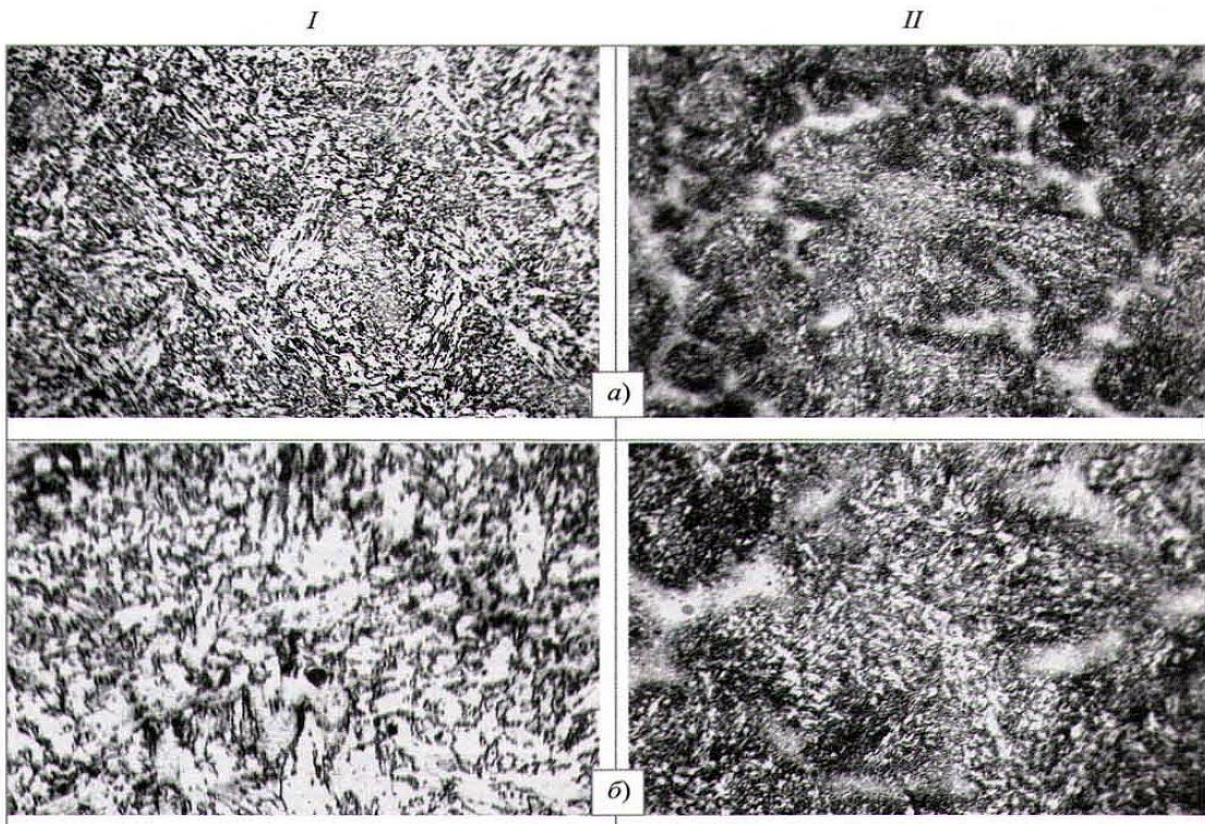
Без СВМ-обработки:
феррито-перлит,
явно выраженная полосчатость



Образец с ОРП (бейнит) x125

После СВМ-обработки:
бейнит, отсутствие полосчатости

Рис. 10. Микроструктура стали 20ХГНМ



Без СВМ-обработки: ярко выраженные границы между перлитом и ферритом

После СВМ-обработки:
границы фаз размыты,
увеличилось количество перлита.

Рис. 11. Микроструктура стали 10ХНЗМДЛ

Рис. 12 содержит протокол результатов механических испытаний и твердости, а также рентгеноструктурного анализа микроструктуры стали до и после СВМ-обработки

Микроструктура образцов напоминает бейнит, небольшие участки свободного феррита на обработанном в поле образце более выражены, нежели на необработанном.

На снимках микроструктуры необработанного образца при больших увеличениях видна хаотичная направленность кристаллизации, а на обработанном образце зерна ориентированы более упорядоченно, с одинаковой кристаллографической ориентировкой, это обеспечило получение более однородной и более мелкой структуры.

Сделаны измерения величины зерна.

Образец без обработки – 4,9 мкм; образец с обработкой – 3.2 мкм

Результаты механических испытаний и твердости

Результаты измерений твердости стальных образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Образец	HRC кг/мм ²	HV
Необработанный	16,8	310
Обработанный	21,5	335

Из таблицы следует, что в обработанном образце значения твердости выше.

Проведены механические испытания образцов на сжатие (таблица 2)

Материал образцов пластичный, образцы после испытаний приобрели бочкообразную форму, разрушение не прошло при максимальной нагрузке 10 т, у стали, обработанной полем, прочность выше.

Таблица 2

Образец	Относительное Укорочение ϵ , %	Относительное Уширение ϕ , %	σ услов.. кгс/мм ²
Без обработки	23,3	18	91,5
С обработкой	10,0	10	127

Результаты рентгеноструктурного анализа

Таблица 3

Образец	Ширина пиков	Размер блоков Dhkl	Микроискажения Da/a*100(n2)
Сталь необ- работанная.	0,320 1,492	882,3	0,077
Сталь обработ.	0,361 1,378	885,3	0,056

Из таблицы 3 следует, что размер блоков у образца без обработки и с обработкой практически одинаковый, а микроискажения после обработки стали меньше.

Выводы:

1. Микроструктура образца после обработки в электромагнитном поле более мелкозернистая, размер зерна -3,2 мкм. (Исх. – 4,9 мкм).
2. У обработанного образца твердость и прочность выше..

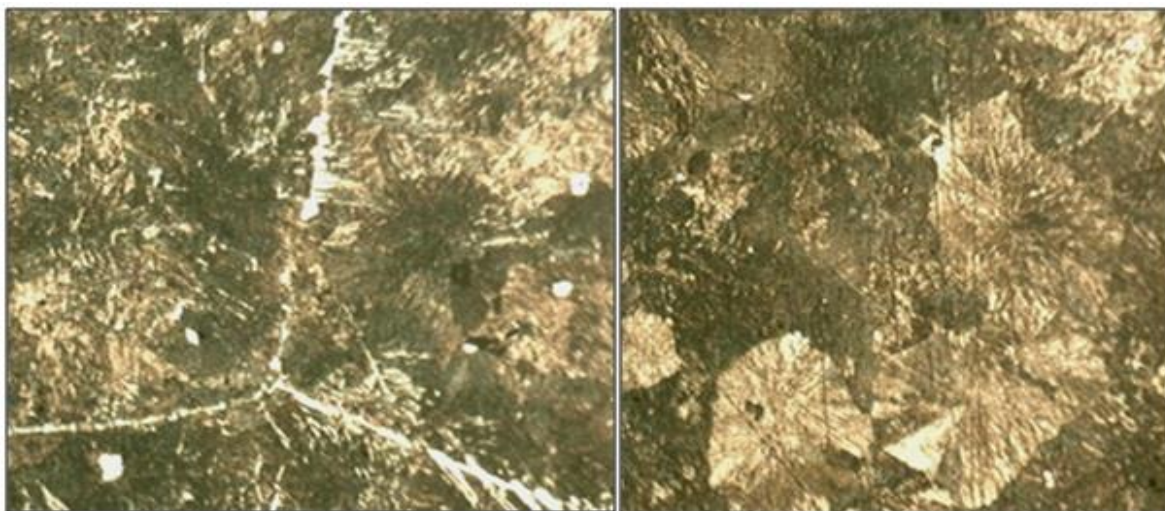
Директор ФГУП «Центр порошкового
материаловедения»

академик

Анциферов В.Н.

Рис. 12. Характеристики стали 10ХНЗМДЛ

На рис.13 изображена микроструктура стали 35ХГСЛ до и после СВМ-обработки:

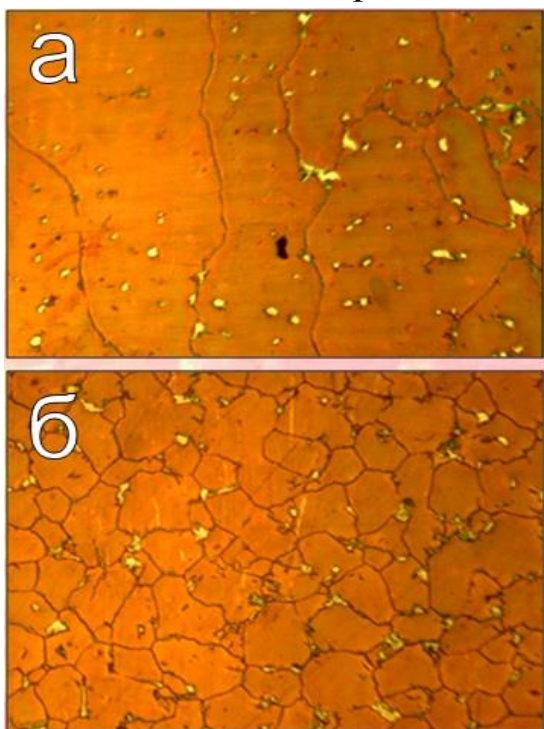


Без СВМ-обработки: ферритная сетка,
видманштет 2-3 балл,
перлитные и ферритные зерна.

После СВМ – зерна феррита
и перлита.

Рис. 13. Микроструктура стали 35ХГСЛ

На рис. 14 изображена микроструктура стали 110Г13Л аустенитного класса до и после обработки СВМ-генератором:

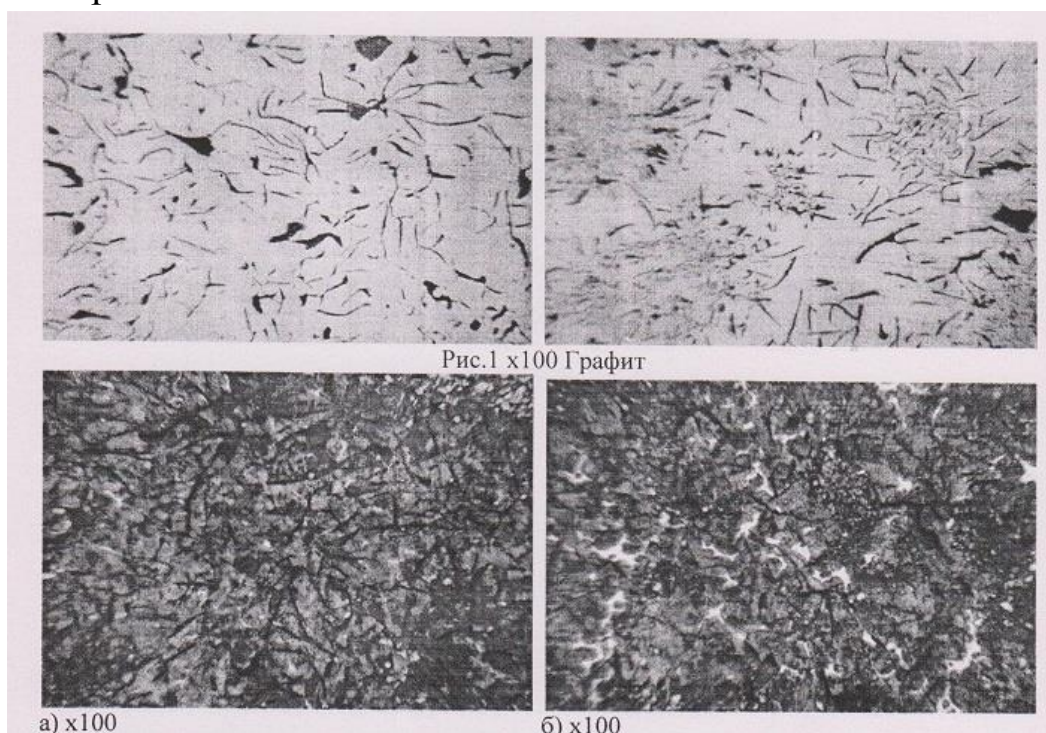


а) – контрольный образец, аустенит,
0–1 балл

б) – после СВМ-обработки;
наблюдается характерное
измельчение размера зерна
(4–5 балл), измельчение
и более равномерное распределение
карбидов

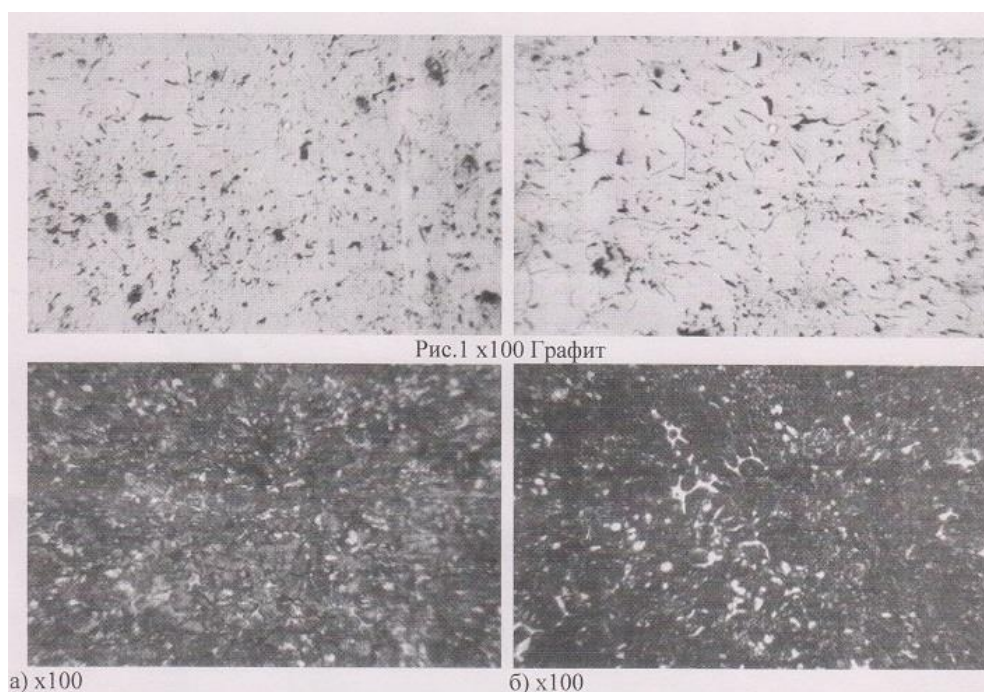
Рис. 14. Микроструктура стали 110Г13Л аустенитного класса

На рис. 15 и 16 мы видим изменения, произошедшие в графите до и после СВМ-обработки:



Без СВМ-обработки, преимущественно пластинчатый графит

Рис. 15. Чугун с пластинчатым графитом



После СВМ-обработки, преимущественно точечный графит

Рис. 16. Чугун с точечным графитом

На рис. 17 изображены изменения в алюминии А7 до и после обработки СВМ-генератором:

Без СВМ-обработки
Игольчатые кристаллы

После СВМ-обработки
Равноосные кристаллы

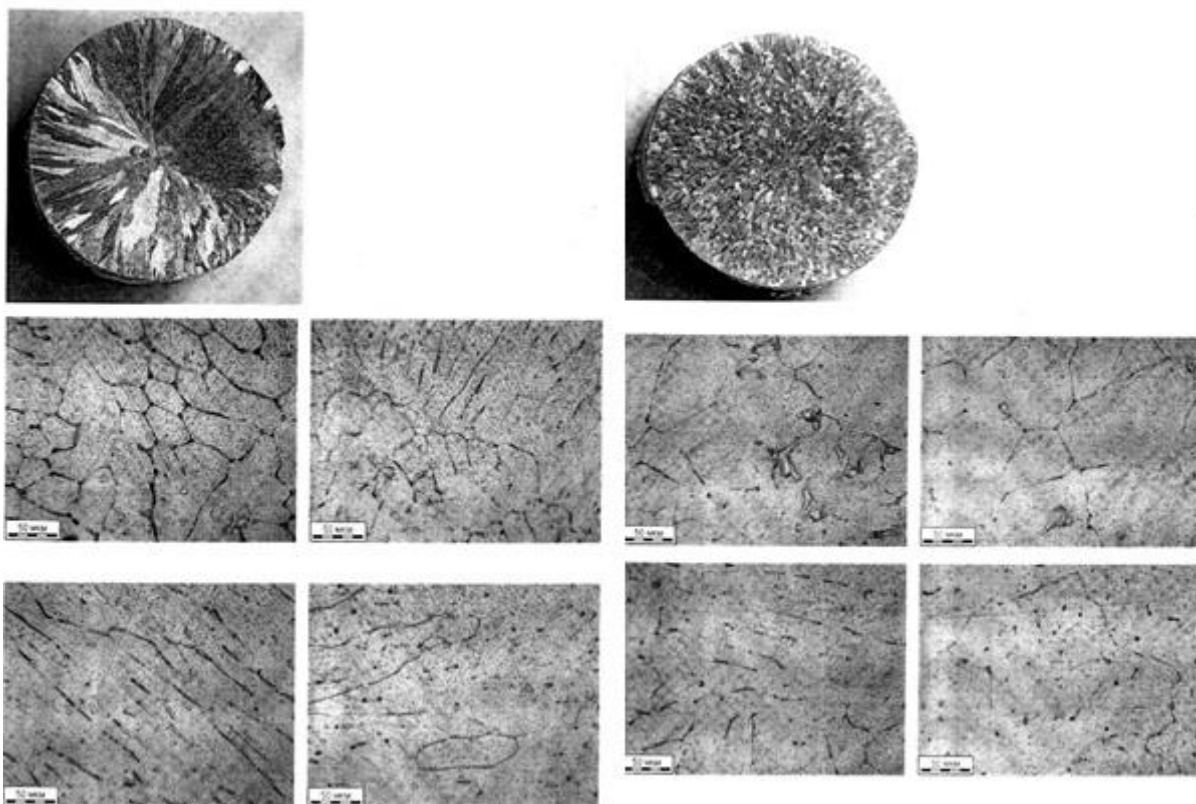


Рис. 17. Алюминий А7

На рис. 18 изображены изменения в микроструктуре стали 40ХН:

Без СВМ-обработки
Крупное зерно, преобладание перлита.

После СВМ-обработки
Мелкое зерно, преобладание феррита.

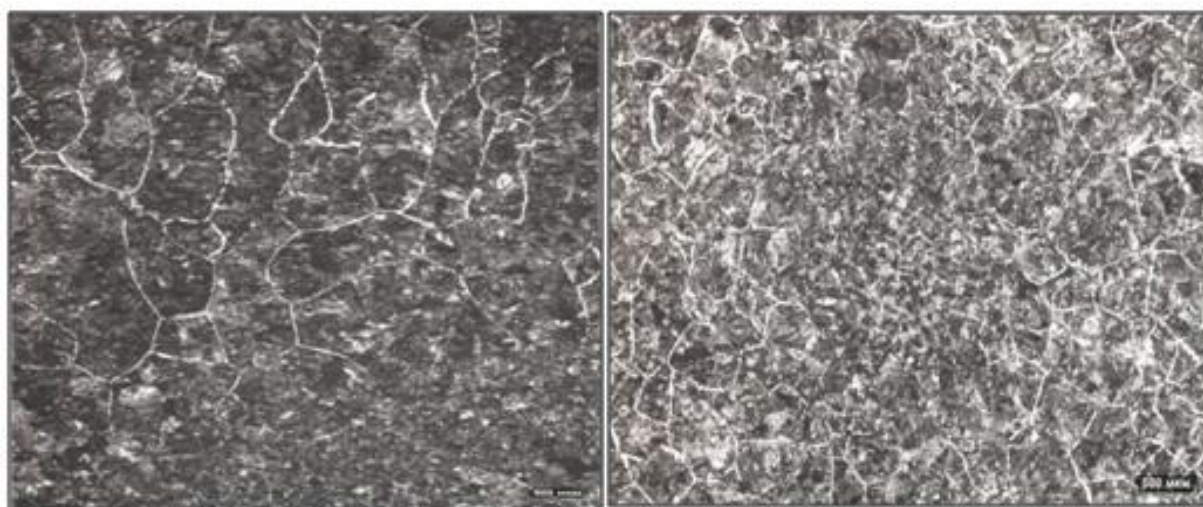
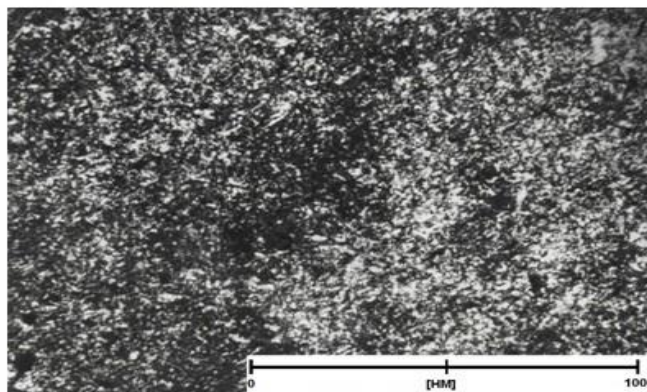


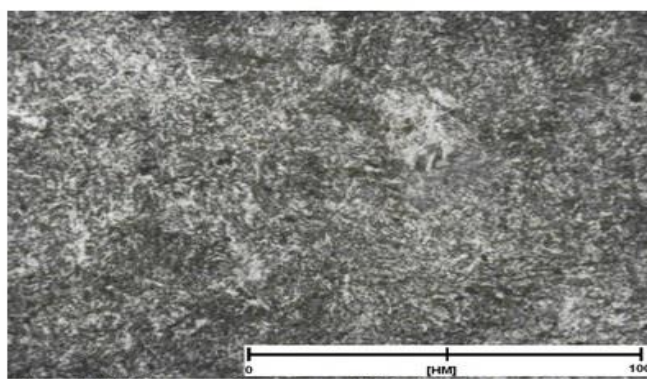
Рис. 18. Микроструктура стали 40ХН.

На рис. 19 мы видим микроструктуру стали 40ХЛ до и после СВМ-обработки:

Микроструктура стали 40ХЛ, прошедшая термообработку.



Плавка №2450-контроль, без СВМ-обработки, прошедшая закалку и отпуск.
Микроструктура – сорбит отпуска.



Плавка №2452, с использованием СВМ-обработки, прошедшая закалку и отпуск в тех же условиях.
Микроструктура - бейнит + сорбит, ориентированный по мартенситу.
Данная микроструктура позволила повысить ударную вязкость на 52% по сравнению с контролем, при сохранении тех же прочностных показателей.

Рис. 19. Микроструктура стали 40ХЛ после СВМ-обработки.

Рис. 20 содержит фото чушек белого передельного чугуна до и после обработки СВМ-генератором:

Без СВМ-обработки
Наличие пор и раковин



После СВМ-обработки
Раковины отсутствуют



Рис. 20. Белый передельный чугун, чушки полупродукта

Рис. 21 и 22 содержат фото образцов чугуна и стали до и после обработки СВМ-генератором:

Без СВМ-обработки
Перлит, мелкие зерна феррита.

После СВМ-обработки
Увеличение количества феррита,
размытые границы между кристаллами.

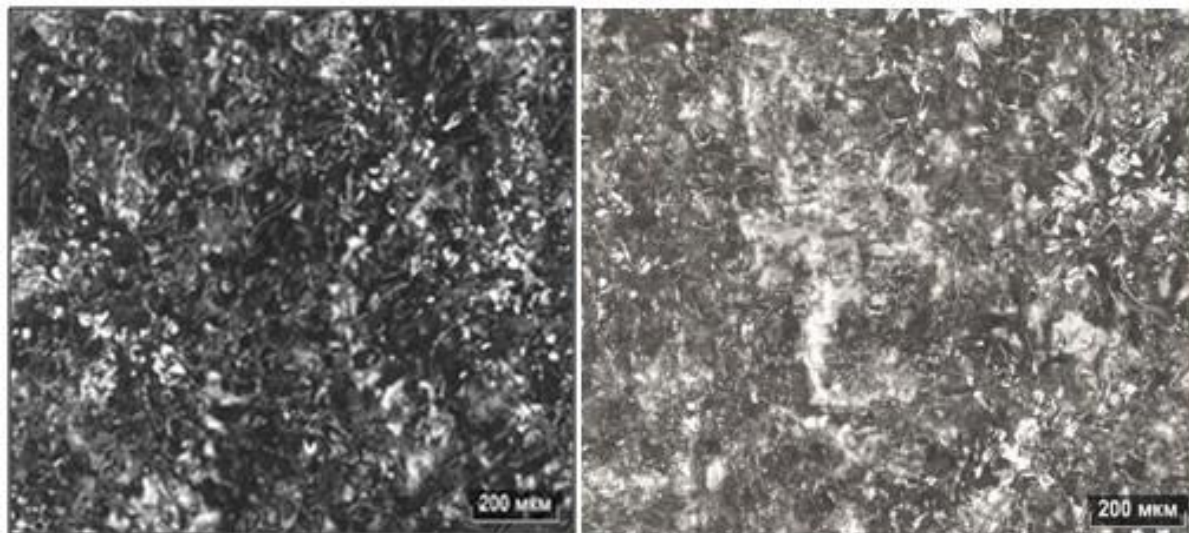


Рис. 21. Микроструктура исследованных образцов чугуна СЧ20.

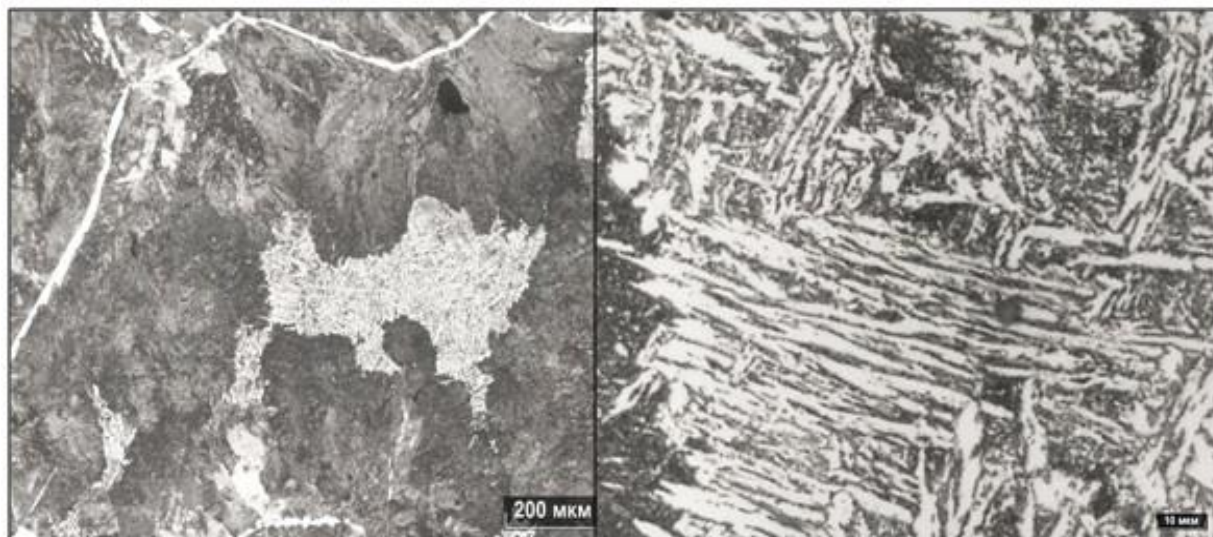


Рис. 22. Наличие бейнитной структуры в стали 40ХН

§ 8. ПРИМЕРЫ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Таблица 9

Материал	Параметр	Без СВМ	После СВМ
Сталь 110Г13Л	Величина зерна, балл	0–3	3–4
	Ударная вязкость, K_{cu} , кДж/м ²	122	180
Сталь 10ХН3МДЛ	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	940	1040
	Относительное удлинение, δ , %	10	14
	Ударная вязкость, K_{cu} , кДж/м ²	383	686
Сталь 35Л	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	560	1010
	Относительное удлинение, δ , %	21	13
	Ударная вязкость, K_{cu} , кДж/м ²	590	384
	Величина зерна, балл	3-7	7-9
Чугун СЧ25	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	250	390
	Содержание неметаллических включений, %	0,0558	0,012
Сталь 20	Неметаллические включения, балл	3,5	1,5
Сталь 20ХГНМ	Неметаллические включения, балл	4,5	1,5
Сталь 2Х22Н5АМ3	Неметаллические включения, балл	4,5	0,5
Сплав ЖС6У Авиационные лопатки Нагрузка 25 кгс/мм ² Т=975°С	Время выдержки под нагрузкой до разрушения, час	49,6 (42-55)	82,6 (51-131)
Силумин АК12(Fe)	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	122	288
	Относительное удлинение, δ , %	3	3
	Твердость, НV	71.5	78
Сплав Д16	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, кг/мм ²	8,1	12,9
Сталь 40ХЛ	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	500	900
	Относительное удлинение, δ , %	12	18
	Ударная вязкость, K_{cu} +20°С, Дж/см ²	40	105

Материал	Параметр	Без СВМ	После СВМ
Сталь 09Г2С	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	470	560
	Относительное удлинение, δ , %	21	32
	Ударная вязкость, К _{сч} +20°C, Дж/см ²	29	130
	Ударная вязкость, К _{сч} -70°C, Дж/см ²	29	120
Сталь 40ХМА	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	740	880
	Относительное удлинение, δ , %	16	12
	Работа Удара, А -20°C, Дж	39	70
Сталь 17Г1С	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	450	550
	Относительное удлинение, δ , %	17	29
	Ударная вязкость, К _{сч} +20°C, Дж/см ²	140	189
	Работа Удара, А -20°C, Дж	23	130
Сталь 9Х2МФ	Предел прочности, $\sigma_{вр}$, МПа	620	1033
	Относительное удлинение, δ , %	12	12
	Ударная вязкость, К _{сч} +20°C, Дж/см ²	8	36
	Твердость, НВ	200	300

На рис. 23 представлены результаты испытаний образцов из литья сплава Д16М при статическом нагружении после обработки СВМ-генератором.

Представлены результаты статических испытаний цилиндрических образцов диаметром 5мм (с записью диаграммы разрушения (рисунок 3) и значения разрушающего напряжения (таблица 3)), изготовленных плавлением из плиты сплава Д16М с различной технологической обработкой

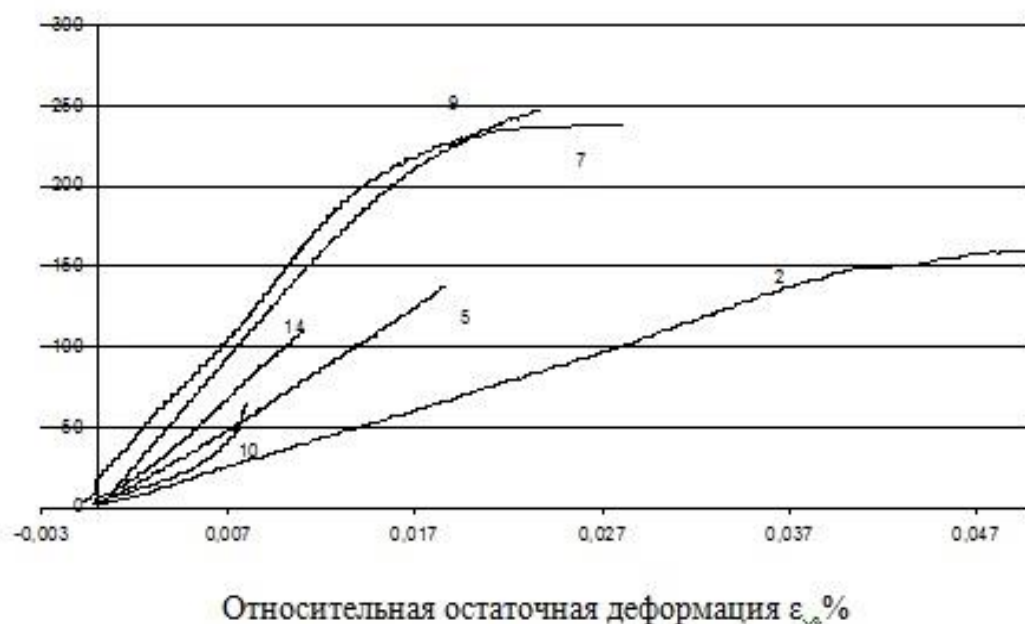


Рисунок 3 – Диаграммы растяжения цилиндрических образцов

- 2 – образец без обработки
- 5 – образец после обработки нестационарным электромагнитным полем – модификатор Sc-Mn-Ni/Cd-Al-Ni
- 7, 9 – образцы после обработки нестационарным электромагнитным полем. Плавление – модификатор Al-Cu-Al/Al-Cu-Al. Выдержка – модификатор Sc-Mg-Zn/ Mg-Si-Ni
- 10 – образец после обработки нестационарным электромагнитным полем. Плавление – модификатор Al-Cu-Al/Al-Cu-Al. Выдержка – модификатор Zn-Mn-Cd /B-Mg-Zn
- 14 – образец после обработки нестационарным электромагнитным полем. Плавление – модификатор Al- Cu-Al/Al-Cu-Al. Выдержка – модификатор Fe-Zr-B/ Fe-Zr-B

Таблица 3

№ образца	1	2	5	7	9	10	14
$\sigma_{\text{разруш.}}$ кг/мм ²	7,1	8,1	7,3	12,2	12,9	3,7	5,5

Рис. 23. Литье сплава Д16М

Результаты воздействия СВМ-генератора на сталь 12X18H10T

Таблица 10

Проблема	Задача	Результат после СВМ-обработки
Крупное зерно, 1-2 балла	Надо получить балл >5	1 балл,
Низкое временное сопротивление, $\sigma_{вр} = 480$ МПа	Надо получить > 510 Мпа	594 Мпа
Отсутствие стойкости к МКК (Межкристаллитной коррозии)	Надо обеспечить прохождение теста на стойкость к МКК	МКК отсутствует

Примечание: несмотря на то, размеры зерна не удалось уменьшить на данном этапе, тем не менее $\sigma_{вр}$ удалось увеличить на 24%, а также обеспечить стойкость стали к МКК.

Механические свойства низколегированной стали 35ХГСЛ после СВМ-обработки в сравнении с высоколегированной сталью 10ХНЗМДЛ

Таблица 11

Марка стали	Предел текучест $\sigma_{т}$ Мпа.	Предел прочности $\sigma_{вр}$ Мпа.	Отн. Удлинение $\delta\%$	Отн. Сужение $\psi\%$	Ударная вязкость КСУ кДж./кв.м. +20°C -50°C	
10ХНЗМДЛ, гомогенизация - 1100°C, нормализация - 960°C - воздух, закалка - 880°C - вода, отпуск - 590°C - вода, требования РГ115-95 ТУ						
	883	940	10	20	383	196
35ХГСЛ, ГОСТ 977 - 75, нормализация - 900 - воздух, закалка - 880°C - вода, отпуск - 580°C - вода.						
	883	990	12	39	696	343
	900	1000	12.5	36	827	368

Механические свойства низколегированной стали 35Л после СВМ-обработки в сравнении с высоколегированной сталью 10ХНЗМДЛ

Таблица 12

Марка стали	Предел текучести от. Мпа.	Предел прочности свр. Мпа.	Отн. Удлинение δ%	Отн. Сужение ψ%	Ударная вязкость КСД кДж./кв.м. +20°C -50°C	
35Л, ГОСТ 977 – 75, контроль (без обработки СВМ – генератором) нормализация – 870°C – воздух.						
	320	560	21.5	43	590.0 600.0	-
35Л, ГОСТ 977 – 75, СВМ – обработка (С, Со, W), нормализация – 870°C – воздух.						
	390	630	17.0	34	520.0 490.0	-
10ХНЗМДЛ, гомогенизация - 1150°C, нормализация - 960°C - воздух, закалка - 880°C - вода, отпуск – 590°C – вода, требования РГ115-95 ТУ						
	≥883	≥940	≥10	≥20	≥383	≥196
35Л, ГОСТ 977 – 75, нормализация – 890°C - воздух, закалка - 850°C - вода, отпуск – 400°C – вода. СВМ – обработка(Cr, Ni, Mo, Cu).						
	860	990	10	20.5	325 378	224 202
35Л, ГОСТ 977 – 75, нормализация – 890°C - воздух, закалка - 850°C - вода, отпуск – 350°C – вода. СВМ – обработка(Cr, Ni, Mo, Cu).						
	883	960	10	17	316 381	253 263
	930	1010	13	25.5	375 297	323 250
35Л, ГОСТ 977 – 75, нормализация – 890°C - воздух, закалка - 850°C - вода, отпуск – 300°C – вода. СВМ – обработка(Cr, Ni, Mo, Cu).						
	1100	1160	10.0	26.0	384	213

Как видно из полученных данных сталь 35Л, обработанная СВМ-полем по «бейнитному» режиму, имеет механические свойства, близкие к требованиям РГ115-95ТУ по стали 10ХНЗМДЛ. Неудовлетворительная ударная вязкость при +20°C, но повышенная ударная вязкость при -50°C.

Результаты испытаний на неметаллические включения сталей 20, 20ХГНМ, 02Х22Н5АМЗ после СВМ-обработки

Здесь обозначено: С – сульфиды, ОС – оксиды строчечные, ОТ – оксиды точечные.

Таблица 13

Сталь		Неметаллические включения (балл)		
		ОС	ОТ	С
20	с полем	1,5	-	1
	без поля	3,5	-	1
20ХГНМ	с полем	1,5	-	1
	без поля	4,5	2	1
02Х22Н5АМЗ	с полем	0,5	1,5	-
	без поля	4,5	2	-

Уменьшение неметаллических включений в чугуне СЧ25 после СВМ-обработки

Характеристика исследованных образцов чугуна:

Таблица 14

№ Об- раз- ца	Вариант обработки	Содержание неметаллических включений, об. %			Параметры микроструктуры				
		Сульфиды марганца	Нитриды, карбиды, карбонитриды	Общая сумма	Форма графита	Длина графита	Распре- деление графита	Количес- тво графита	Метал- основа
О	обычный	0,0558	0,0397	0,0955	ПГф1 ПГф4	ПГд25 - ПГд90	ПГр3	ПГ12	П+Ф
Б	опытный	0,0244	0,0484	0,0729	ПГф1 ПГф4	ПГд25 - ПГд90	ПГр3	ПГ12	П+Ф
В		0,0120	0,0392	0,0512	ПГф1 ПГф4	ПГд25 - ПГд90	ПГр3	ПГ12	П+Ф

Механические свойства стали 110Г13Л

Таблица 15

Проба	Материал	Дата испы- тания	№ протоко- ла испыта- ний	КСУ, Дж/см ²		НВ	Размер зерна
				1	2		
50898	110Г13Л	12.06.18	1305	150	158	178	0-3
50946	110Г13Л	05.07.18	1525	180	171	191	3,4
50915	110Г13Л	07.07.18	1537	104	123	180	0-3
51008	110Г13Л	29.07.18	1745	99	97	172	0, (-1)
51052	110Г13Л	30.07.18	1758	86	81	195	0-2
51078	110Г13Л	02.08.18	1784	103	107	198	0-4

Выделено желтым – после СВМ-обработки.

Экономия редкоземельных металлов

Валы из стали 45 диаметром до 750 мм с применением технологии СВМ и **БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ:**

1. Полностью соответствует требованиям SEW-550
2. Пластические характеристики выше средних значений на 8-16%
3. Все валы соответствуют требованиям заказчика SEP 1921 для ультразвукового контроля
4. Сокращение времени выдержки при рекристаллизации на 30%
5. Экономия на редкоземельных металлах

Механические свойства чугуна СЧ25 после СВМ-обработки

**Термообработка, механические свойства,
микроструктура чугуна СЧ 25 плавка 67-7
(Исследование 32-07)**

Таблица №23

Маркировка	Термообработка	Механические свойства	Микроструктура
67-7-1-1 клиновья проба	Литое состояние	$\sigma_t=191$ МПа; $\sigma_b=279,5$ МПа; $\delta=0,2\%$; $\psi=2,0\%$; НВ=229; KCV ₊₂₀ =3,9; 2,9Дж/см ²	Перлит от 98% П(Ф0) + фосфидн.звт. Ф _{Зр} 1. Дисп. перлита 0,8-1,6 (ПД1,0; 1,4)
67-7-1-2 клиновья проба	<u>Закалка</u> T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 580°С-2ч, воздух.	<u>$\sigma_t=353$ МПа; $\sigma_b=367,5$ МПа;</u> $\delta=0,2\%$; $\psi=0,5\%$; НВ=269; KCV ₊₂₀ =3,9; 2,9Дж/см ²	Сорбитообразный перлит от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1
67-7-1-3 клиновья проба	<u>Закалка</u> T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 610°С-2ч, воздух.	<u>$\sigma_t=309$ МПа; $\sigma_b=338$ МПа;</u> $\delta>0,5\%$; $\psi=0\%$; НВ=286; KCV ₊₂₀ =3,9; 3,9Дж/см ²	Сорбитообразный перлит от 98% П(Ф0) + фосф. звт Ф _{Зр} 2 в виде разорв. сетки
67-7-3-1 клиновья проба	<u>Двойная закалка</u> T _{перек} =870°С-1ч, T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 580°С-2ч, воздух.	<u>$\sigma_t=357,5$ МПа; $\sigma_b=397$ МПа;</u> $\delta>0,5\%$; $\psi=2,0\%$; НВ=269; KCV ₊₂₀ =2,9; 2,9Дж/см ²	Сорбитообразный перлит от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1
67-7-3-2 клиновья проба	<u>Отжиг</u> T _{отж} =720°С-3ч, печь	$\sigma_t=235$ МПа; $\sigma_b=264,5$ МПа; $\delta>0,2\%$; $\psi=0\%$; НВ=207; KCV ₊₂₀ =4,9; 3,9Дж/см ²	Перлит зернистый и пластинч.(ПД 1,4) от 98% П(Ф0) + фосф. звт-ка Ф _{Зр} 1
67-7-3-3 клиновья проба	<u>Отжиг</u> T _{отж} =900°С-3ч, печь	$\sigma_t=142$ МПа; $\sigma_b=255$ МПа; $\delta=0,5\%$; $\psi=0\%$; НВ=170; KCV ₊₂₀ =3,9; 3,9Дж/см ²	Перлит зерн. и пласт. (дисп. ПД 1,4) 80-90% П85(Ф15) + феррит+фосф. звт-ка Ф _{Зр} 1
67-7-4-1 клиновья проба	<u>Отпуск</u> T _{отп} =710°С-1ч, воздух	$\sigma_t=176,5$ МПа; $\sigma_b=304$ МПа; $\delta=1,0\%$; $\psi=0,5\%$; НВ=207; KCV ₊₂₀ =3,9; 3,9Дж/см ²	Перлит зернистый и пластинч. (ПД 1,4) от 98% П(Ф0) + фосф. звт-ка Ф _{Зр} 1
67-7-4-2 клиновья проба	<u>Отпуск</u> T _{отп} =710°С-1ч,воздух; <u>Закалка</u> T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 500°С-2ч, воздух	<u>$\sigma_t=313,5$ МПа; $\sigma_b=392$ МПа;</u> $\delta=0,5\%$; $\psi=0,5\%$; НВ=302; KCV ₊₂₀ =3,9; 3,9Дж/см ²	Сорбитообразный перлит от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1
67-7-4-3 клиновья проба	<u>Отпуск</u> T _{отп} =710°С-1ч,воздух; <u>Закалка</u> T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 610°С-2ч, воздух	<u>$\sigma_t=343$ МПа; $\sigma_b=382$ МПа;</u> $\delta=0,5\%$; $\psi=0,5\%$; НВ=255; KCV ₊₂₀ =3,9; 3,9Дж/см ²	Сорбитообразный перлит от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1
67-7-5-1 клиновья проба	<u>Нормализация</u> T _{нор} =890°С-1ч, воздух	<u>$\sigma_t=294$ МПа; $\sigma_b=348$ МПа;</u> $\delta=0,2\%$; $\psi=0,5\%$; НВ=255; KCV ₊₂₀ =4,9; 2,9Дж/см ²	Перлит пласт. (дисп. ПД 0,5) 94-98% П96(Ф4) + феррит + фосф. звт-ка Ф _{Зр} 1
67-7-5-2 клиновья проба	<u>Нормализация</u> T _{нор} =890°С-1ч,воздух; T _{отп} =450°С, воздух	$\sigma_t=240$ МПа; $\sigma_b=250$ МПа; $\delta>0,2\%$; $\psi=0\%$; НВ=163; KCV ₊₂₀ =2,9; 2,9Дж/см ²	Перлит точечный от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1
67-7-6-1 клиновья проба	<u>Закалка</u> T _{перек} =850°С-1ч, масло; T _{отп} = 720°С-2ч, печь	$\sigma_t=245$ МПа; $\sigma_b=264,5$ МПа; $\delta>0,8\%$; $\psi=1,5\%$; НВ=197; KCV ₊₂₀ =2,9; 2,9Дж/см ²	Перлит зернист.+пласт. (дисп.ПД 1,0) от 98% П(Ф0) + фосфидн. звтектика Ф _{Зр} 1

Рис. 24.

Механические свойства сталей после СВМ-обработки

Таблица 16

Мех. свойства	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	A_{20} , Дж	KCU (+20°C), Дж/см ²	KCV (-20°C), Дж/см ²
17Г1С поковки Ø300...800 Завод. статистика ОРМЕТО - ЮУМЗ	275	450	17	23	140,0	
17Г1С СВМ-обработка >20 плавов	370	550	29	100-130	160-189	160-189
40ХМА поковки до Ø400 Заводская статистика ОРМЕТО - ЮУМЗ	390	590-740	16	39-59		
40ХМА СВМ-обработка >10 плавов	670	880	12,5	70		
Мех. свойства	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	НВ	KCU (+20°C), Дж/см ²	Водород, см ³ /100г
9Х2МФ валы до Ø800 Заводская статистика ОРМЕТО - ЮУМЗ	390	620	12	200	8,0	3-4
9Х2МФ СВМ-обработка >10 плавов	784	1033	12	300	36	2-3

§ 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВМ-ТЕХНОЛОГИИ НА ЖАРОПРОЧНОСТЬ СПЛАВОВ

Сплав Д16Т

Эксперимент проводился на промышленной печи омического нагрева, объём плавки составлял 30 кг. Обработке подвергался расплав конструкционного алюминиевого сплава Д16. Металл всех плавов не подвергался модифицированию. Плавки подвергались обработке по разным частотным режимам работы СВМ – генератора, с целью провести модифицирование сплава, путём воздействия на металл полем генератора и повлиять на активность тех или иных хим. элементов, входящих в состав данного сплава. Плавка №191 обрабатывалась СВМ – генератором, работающим на частоте ядерного магнитного резонанса (ЯМР) циркония. Плавка №192 обрабатывалась СВМ – генератором, работающим на частоте ЯМР меди. Плавка №195 и №196 обрабатывалась СВМ – генератором, работающим на частоте ЯМР железа и марганца. Плавка №194 обрабатывалась СВМ – генератором, работающим на частоте ЯМР цезия. С каждой плавки заливался образец. Все залитые образцы не подвергались деформации, подвергались только закалке и искусственному старению. Затем исследовалась микроструктура образцов, как до, так и после термообработки. Фотографии микроструктуры полученных образцов представлены на рис. 25. Термообработка: закалка 485°С, вода. Искусственное старение 185°С – 8 часов.

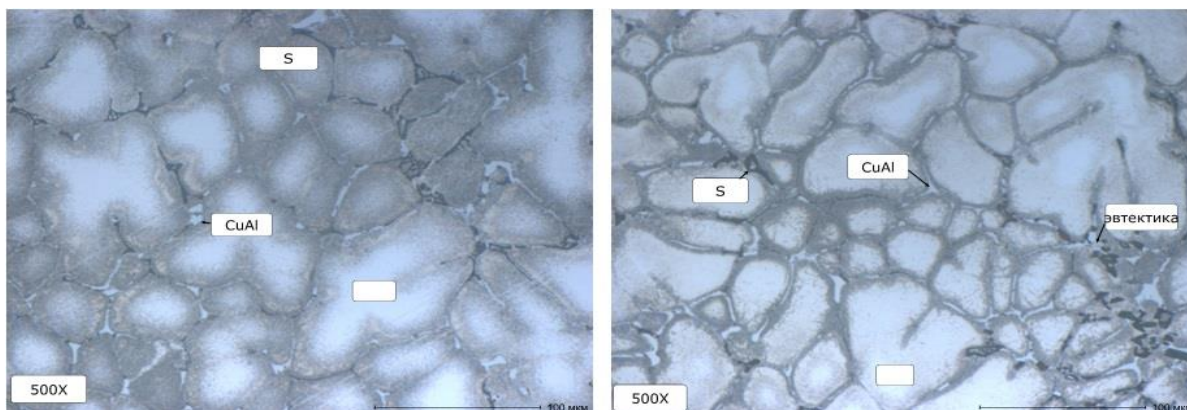
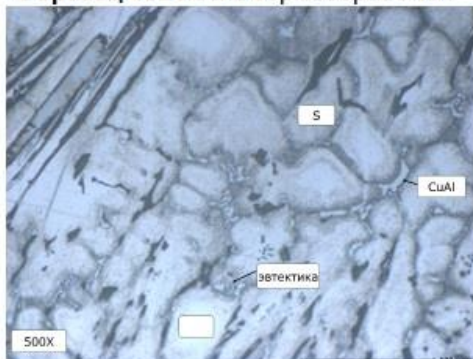


Рис. 25. Образец 191 – до термообработки. Образец 191-1 – после термообработки

Микроструктура образцов 191, 191-1: алюминиевый твердый раствор α ; упрочняющие фазы CuAl_2 (светлая), S-фаза- Al_2CuMg (темная), эвтектические составляющие по границам зерна (двойные, тройные), кроме того, железо-марганцевосодержащие фазы. Структура в виде зерен, фазы расположены по границам зерна.

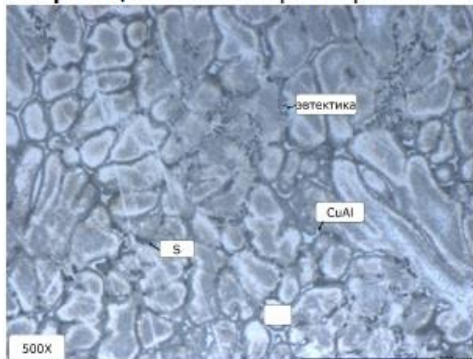
Образец 192 после термообработки.



Термообработка: закалка 490°C , вода. Искусственное старение 190°C – 8 часов.

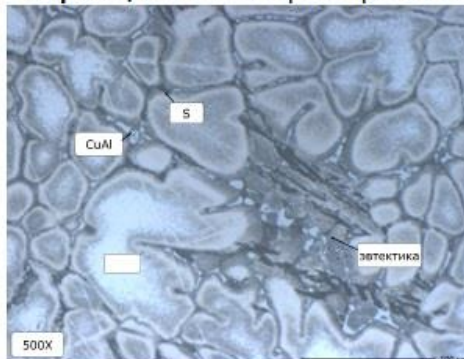
Микроструктура образца 192: алюминиевый твердый раствор α ; упрочняющие фазы CuAl_2 (светлая), S-фаза- Al_2CuMg (темная), эвтектические составляющие (двойные, тройные) по дендритам и в виде игл, железомарганцевосодержащие фазы. Дендритная структура.

Образец 194 после термообработки.



Термообработка: закалка 495°C , вода. Искусственное старение 195°C – 8 часов.

Образец 195 после термообработки.



Термообработка: закалка 500°C , вода. Искусственное старение 195°C – 8 часов.

Рис. 26. Образцы 192, 194, 195 – после термообработки

Результат:

Как и ожидалось, характерным признаком СВМ-обработки металла явилось измельчение макро и микроструктуры. Наиболее мелкое зерно получилось в плавке при обработке плавки №194.

Микроструктура образцов всех без исключения плавов, обработанных СВМ – генератором не соответствует закаленному и состаренному состоянию. Термообработка не повлияла на микроструктуру литого металла марки Д16, прошедшего обработку СВМ – генератором.

Волновая обработка расплава алюминиевого сплава Д16, с помощью СВМ-генератора, привела к большой тепловой устойчивости фаз литого металла. Было отмечено сохранение литой структуры в слитках Д16Т после отжига. Предварительно металл слитков прошёл СВМ – обработку. Очевидно, что для получения требуемых структур металла потребуется более высокая температура отжига и закалки и старения. Вполне вероятно, что данный эффект сохранения теплоустойчивости найдет применение в производстве жаропрочных сталей и жаропрочных алюминиевых сплавов. Вполне вероятно, что с отработкой данного режима на металлургическом производстве, возможно применение этого сплава, наряду с дорогими жаропрочными сплавами. В целом на традиционных марках сплавов можно будет поднять теплостойкость и даже жаропрочность.

Результаты испытаний дорнов для изготовления труб из стали 25Х2М1Ф, обработанной по СВМ-технологии

Таблица 17 и рис. 27 показывают, что разгаростойкость сталей СД-2 в результате использования СВМ-генератора была повышена в 2 раза:

Таблица 17

Материал	Параметр	Без СВМ	После СВМ
Сталь 25Х2М1Ф Дорны для изготовления труб	Количество прокатанных труб до за- браковки, Тонн	1400 Забракованы по сетке разгара	3000 Забракованы по износу поверх- ности, Сетки разгара нет

ПРОТОКОЛ
осмотра забракованных дорнов
ОАО «Северский трубный завод»
Трубопрокатный цех №1

9.03.2004 г.

г. Полевской

Были осмотрены дорны диаметром 210 мм из стали СД-2 (25X2М1Ф):

- Необработанных [REDACTED] полом (серийных) - 5 шт.
- Обработанных [REDACTED] полом (отмеченных с торца сваркой) - 8 шт.

1. На серийных дорнах отмечена сетка разгара и продольные трещины шириной до - 5мм, длиной до - 1,5 метров.
2. На обработанных дорнах сетки разгара и трещин визуально не обнаружено.
3. Необработанные дорны были забракованы по состоянию поверхности (сетка разгара, трещины) – прокатано 1400 тонн.
4. Обработанные дорны забракованы только по износу поверхности (диаметр меньше допустимого) – прокатано 3000 тонн.

- На основании полученных данных разгаростойкость сталей СД-2 (25X2М1Ф) в условиях трубопрокатного производства возрастает в 2 раза.

Директор НПК «ТОР»



Зенков Д.В.

Зав. Лабораторией «Фрактал»



Курапов С.А.

Ст. калибровщик трубопрокатного цеха №1



Терёшин А.В.

Рис. 27

Результаты испытаний образцов авиационных лопаток из сплава ЖС6У на длительную прочность

5.2.1 Длительная прочность.

Результаты испытания образцов на длительную прочность представлены в таблице 2.

Таблица 2

Условный номер плавки	Номер образца в плавке	Технические условия испытания		Время выдержки под нагрузкой, час	Примечание
		Напряжение, кгс/мм ²	Т испытания, °С		
1	1	25	975	42	Без воздействия
	2	25	975	52	
	3	25	975	55	
				Средняя 49,6	
2	1	25	975	69	Воздействие по режиму №1
	2	25	975	47	
	3	25	975	86	
				Средняя 67,3	
3	1	25	975	66	Воздействие по режиму №2
	2	25	975	51	
	3	25	975	131	
				Средняя 82,6	
4	1	25	975	48	Воздействие по режиму №3
	2	25	975	56	
	3	25	975	126	
				Средняя 76,6	

Технический отчет № 541/15-4544

7



Рис. 28

§ 10. ПРИМЕНЕНИЕ СВМ-ГЕНЕРАТОРА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Микроструктура стали типа 10ХГНМ при увеличении $\times 500$ до и после СВМ-обработки

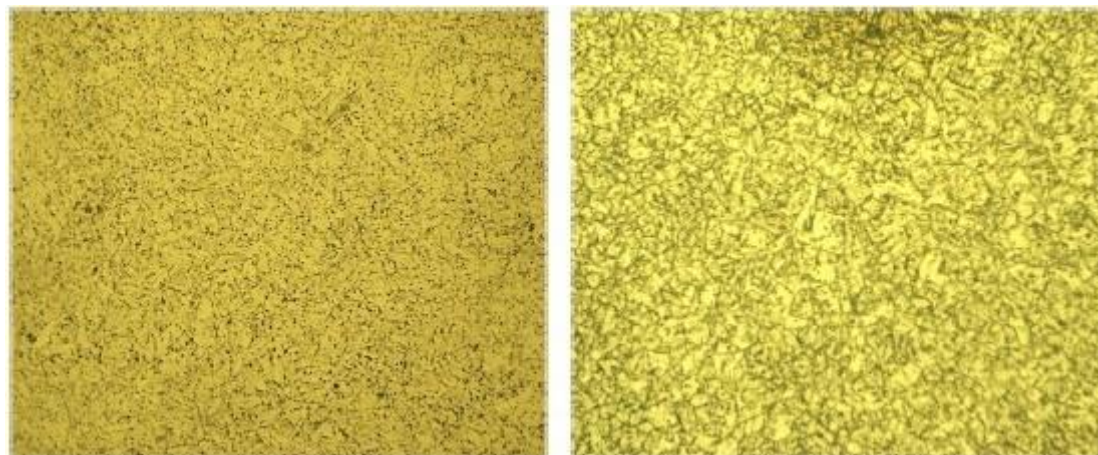


Рис. 29

Участки точечного вытравливания (питтинга) в структуре стали до СВМ-обработки указывают на преимущественное выделение вредных примесей по границам зерен. Примеси после СВМ-обработки распределены более однородно и были выявлены как по границам, так и внутри зерен. Средний размер зерна стали до (6,47 мкм) и после (6,42 мкм) СВМ-обработки существенно не изменился.

На полученных из этой стали деталях были измерены акустические свойства, представленные в таблице 18.

Таблица 18

	Частота F1, Гц	Частота F2, Гц	Разночастотность, ΔF , Гц
Без СВМ-обработки	7097,72	7097,36	0,36
	7094,25	7093,97	0,28
	7097,54	7097,36	0,18
	7077,22	7076,48	0,74
	7088,75	7087,47	1,28
	7099,65	7099,65	0
	7084,45	7084,36	0,09
	7089,76	7089,39	0,37
После СВМ-обработки	7042,79	7042,7	0,09
	7043,43	7043,34	0,09
	7035,83	7035,74	0,09

Сплав ЭП-678

Таблица 19

Номер образца	Предел прочности Бв, кгс/мм ²	Предел текучести Бт, кгс/мм ²	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение, Ψ , %	
Контроль_1	126	121	14	65	
Контроль_2	122	118	14,5	67	
3	162	158	12	59	28,60%
4	161	158	12,5	58	27,80%
9	161	158	11,5	59	27,80%
12	162	158	12	58	28,60%

Стандартные заготовки для определения механических характеристик из сплава ЭП678 были подвергнуты процедуре закалки:

Нагрев до 980°C, выдержка при этой температуре 1,5 часа, закалка вводу, старение 3 часа при температуре 520°C.

Образцы 3,4,9,12 во время выдержки при T=980°C подверглись обработке СВМ-генератором с целью увеличения механических свойств с использованием модификаторов В, Cr, Со, Си, Ni, W и частот ЯМР этих металлов.

Образцы Контроль_1 и Контроль_2 СВМ-обработке не подвергались.

Получили увеличение Предела прочности в среднем на 28%, пластичность при этом уменьшилась незначительно.

Протоколы испытаний сплава ЭП678

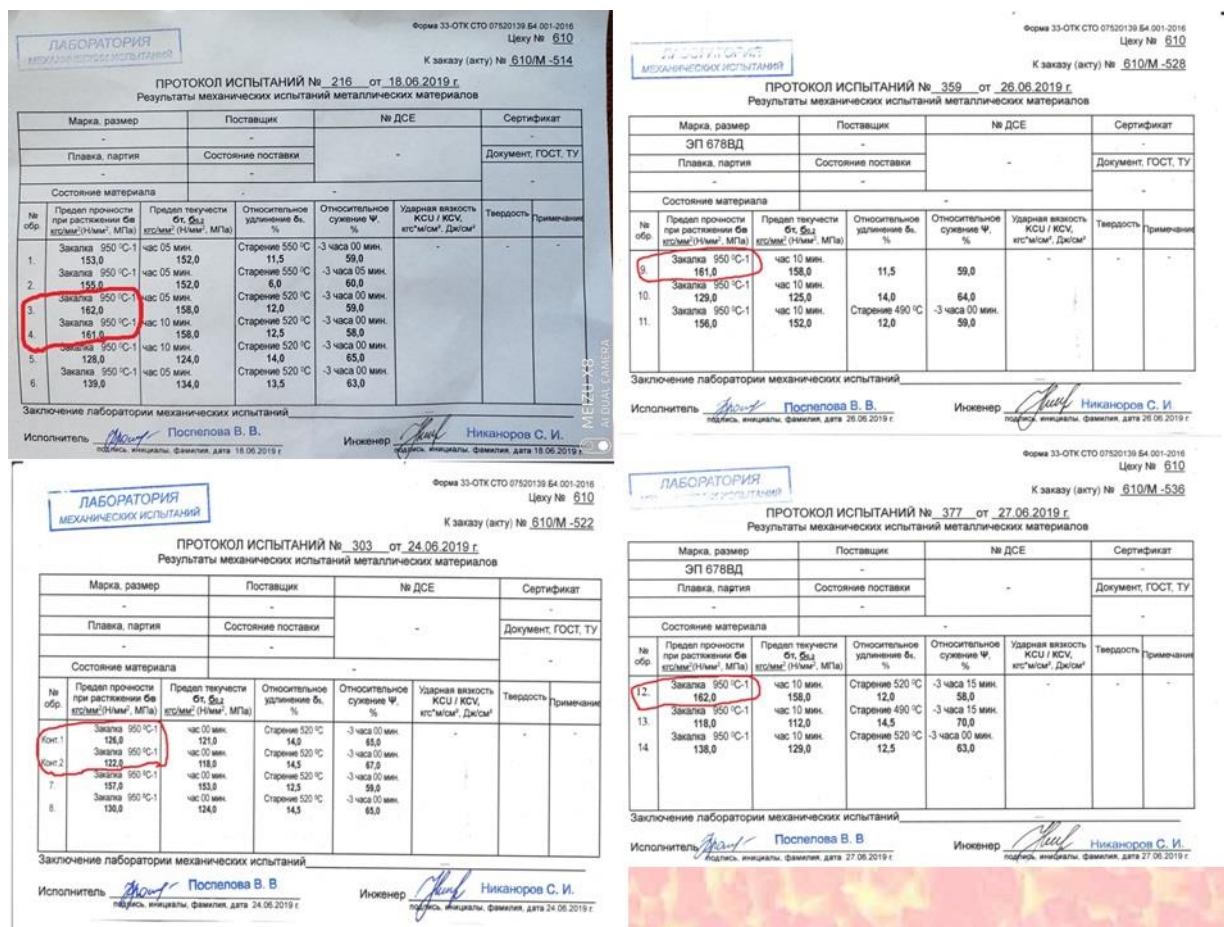


Рис. 30

Титан BT1-0

1. Стандартные заготовки листового титана BT1-0 подверглись закалке по схеме: нагрев до 1000°C, выдержка 20 мин., закалка в воду.
2. Образцы во время выдержки при T=1000°C подверглись обработке СВМ-генератором с целью увеличения механических свойств с использованием различных модификаторов и частот ЯМР этих металлов.
3. Образцы T.003, T.013 СВМ-обработке не подвергались и соответствуют марке BT1-0.

Таблица 20

Технический титан BT1-0, Ti – 99%	Предел прочности, σв, МПа	Предел текучести, σ0,2, МПа	Относительное удлинение, δ, %	Соответствие
BT1-0, справочные данные	375		30	
T.003	406		31,6	Без СВМ-обработки
T.013.01	355	305	51	Без СВМ-обработки
T.013.02	350	300	49	Без СВМ-обработки
T.020.K1	360	315	32	Без СВМ-обработки
T.020.K2	380	340	34	Без СВМ-обработки
T.004	780		14	
T.005.01	890	850	0,4	
T.005.02	900	870	0,4	
T.009.01	520	390	7	
T.010.01	510	430	7	
T.012.01	840	620	15	
T.012.02	850	640	13	
T.014.02	830	560	18	
T.015.01	850	690	11	
T.015.02	840	690	9	
T.026	460	380	4	
T.027				
	455	370	6	
T.029				
	890	670	11	
T.036				
	520	415	4	
T.042	1100	930	2	
T.045	1120	930	3	
4054	960	720	16	
4055	960	720	16	
4056	940	760	15	

Протокол испытаний титановых пластин из BT1-0

Zwick / Roell



**ПЕРМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
Классика будущего

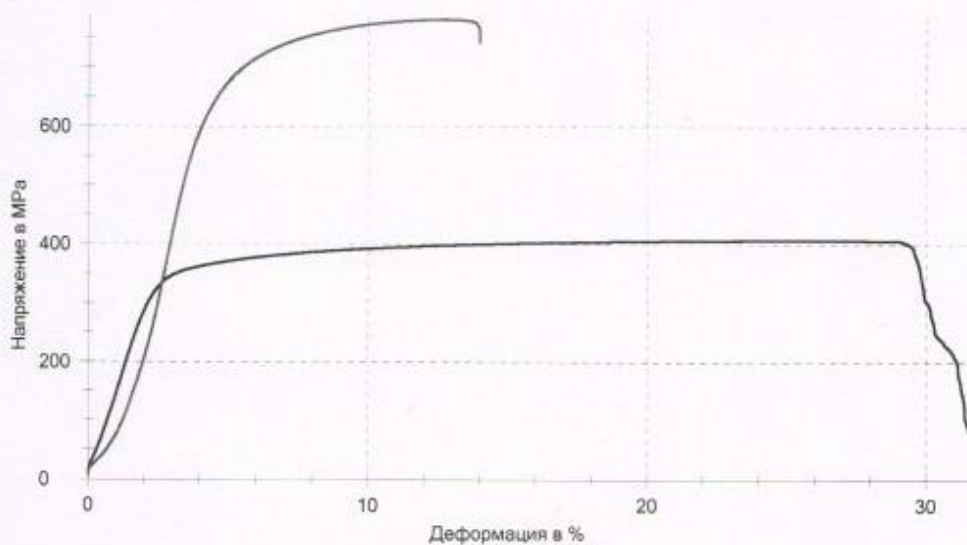
Протокол испытаний титановых пластин

Заказчик : Аптуков В.Н.
Материал : Титан
Оператор : Мерзляков А.Ф.
Данные машины : ZWICK Z-250, зав. № 178457. Датчик силы 250 кН, зав. № 178458
Преднагрузка : 200 N
Скорость испытания : 3 mm/min

Результаты испытаний:

Обозначение	Nr	Обозначение	σ_B MPa	δ %	S_0 mm ²
	1	T.003	406.30	31.6	29.60
	2	T.004	780.52	14.0	29.40

График серии:



Растяжение_пластина.zs2

Мерзляков А.Ф. _____

20.01.20

Рис. 31. Титановые пластины из BT1-0.

Таблицы 21 и 22 содержат результаты воздействия на сталь 09Г2С и 17Г1С с помощью СВМ-генератора.

Сталь 09Г2С

Таблица 21

Сталь 09Г2С	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Относит. удлинение δ , %	Относит. сужение ψ , %	Ударная вязкость КсV, -20° С дж/см ²	Ударная вязкость КсV, -40° С дж/см ²
Статистика завода	460-480	250-270	19-21		34	29
К1006 Без СВМ-обработ.	560	355	30			70
1000	510	370	36	76	203	198
1001	500	370	36	77	200	203
1002	520	395	38	77		
	520	405	36	78		
1003	550	370	33	69		
	550	375	38	71		
1004	520	390	38	77		304
1005	550	365	32	66		155

Вывод: на данном этапе исследований СВМ-обработка твердых образцов стали 09Г2С существенно повлияла только на предел текучести и ударную вязкость при -20° С и при -40° С.

Сталь 17Г1С

Таблица 22

Сталь 17Г1С	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Относит. удлинение δ , %	Ударная вязкость КсV, -20° С дж/см ²	Ударная вязкость КсV, -40°С дж/см ²
ГОСТ	470-630	345		27	
Статистика завода	545-550	316-320	29-30	67-118	23-34
Образец 39	550	350	35	134	59
	550	335	31		
Образец 40	530	315	37	183	129
	530	320	33		
Образец 38	560	365	36		121
	550	370	33		

1. Проблемы заказчика:

- низкий уровень предела текучести,
- низкий уровень ударной вязкости.

2. После испытания заготовки №39 предел текучести увеличился на 15 МПа, ударная вязкость при -40°C увеличилась в 1,73 раза.

3. При испытании заготовки №40 добавили модификатор С (углерод) в надежде на увеличение предела текучести. Однако предел текучести упал до заводских значений, но ударная вязкость при -40°C увеличилась в 3,8 раза.

4. После испытания заготовки №38 по такому же режиму, что и №39, только с увеличенным в 2 раза временем СВМ-обработки, предел текучести увеличился на 45 МПа, ударная вязкость при -40°C увеличилась в 3,5 раза.

Таким образом, образец №38 полностью удовлетворяет требованиям ГОСТа.

Прочностные характеристики силумина АК5М после термообработки

Образец	Предел прочности σв, МПа	Предел текучести σ0.2, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение Ψ, %	Твердость НВ
ГОСТ 1583-93 После термообработки!	157 - 235		0,5 – 1,0	Не нормируется	65-70
Контроль	135	120	1,0	1,0	69
2.4.1	220	-	1,0	0,0	105-107-105
	200	-	1,0	1,0	
2.5.1	235	-	0	0	114-116-111
	225	205	1,0	0	
2.6.2	285	-	2,0	0	118-121-118
	295	290	2,0	0	
2.6.3	260	240	2,0	0	116-121-116
	285	275	1,0	2,0	
3.2.1	225	170	2,0	2,0	43-44-45
	225	170	3,0	2,0	
3.2.2	280	-	2,0	0,4	68-66-66
	285	220	1,0	1,0	
3.3.1	300	295	2,0	4,0	114-114-114
	305	290	2,0	2,0	
3.3.2	315	295	2,0	1,0	116-114-111
	315	295	0	2,0	
3.4.1	305	290	1,0	1,0	116-114-116
	325	295	2,0	0	
3.4.2	285	280	3,0	0	114-116-114
	280	280	2,0	1,0	
3.4.3	300	285	2,0	2,0	114-116-114
	305	280	2,0	1,0	

Рис. 32. Силумин АК5М.

Всего испытано 11 образцов силумина АК5М. Характеристики 8 из 11 образцов превышает верхний предел требований ГОСТА на **10% – 38%**.

Пластичность 8-ми образцов превышает верхний предел требований ГОСТА в **2 и 3** раза.

Твердость 7-ми из 8-ми образцов превышает требования ГОСТА на **58% – 73%**.

Выводы по применению СВМ-технологии при термообработке

По результатам работ можно сделать вывод, что металл, обработанный СВМ-генератором во время нагрева под закалку, отпуска или отжига, меняет свои свойства точно так же, как и при литье.

Это открывает множество новых направлений использования СВМ-технологии:

1. Восстановление механических свойств (с улучшением качества) деталей, забракованных по сроку изготовления.

2. Повышение механических свойств деталей, забракованных по снижению требуемых характеристик.

3. Повысить качество новых запчастей на складах, ещё не переданных в производство.

4. Восстановление свойств длинномерных изделия, например нефтяных штанг, ж/д рельсов с СВМ-обработкой при ТВЧ-нагреве.

5. Восстановление качества сварных швов, при ТВЧ-нагреве.

6. Проводить термообработку заготовок совместно с обработкой СВМ-генератором, для повышения механических свойств изделия.

И еще множество направлений, которые могут появиться в процессе внедрения СВМ-технологии.

§ 11. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛИМЕРНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Результаты СВМ-обработки винил-эфирной смолы ВЭС-15 различными модификаторами с целью увеличения химической стойкости

Таблица 23

смола ВЭС15	без обработки	обработка с модификаторами		
		фторопласт	кварц	золото
уменьшение массы, %				
H ₂ O вода	1,33	0,99	1,1	1,24
NaOH щёлочь	1,3	0,97	0,98	1,16
H ₂ SO ₄ кислота	1,32	1,01	1,13	1,23
относительное повышение химстойкости, %				
H ₂ O вода		25,6	17,3	6,8
NaOH щёлочь		25,4	24,6	10,8
H ₂ SO ₄ кислота		23,5	14,4	6,8

Пояснения.

1. Смола ВЭС15 в жидком виде была обработана СВМ-генератором с различными модификаторами.
2. В обработанную смолу был добавлен отвердитель и она была разлита в специальные формы для определения химической стойкости.
3. Полученные затвердевшие образцы были испытаны на химическую стойкость в трёх разных средах.
4. Наилучший результат – минимальное изменение массы – получено при облучении смолы, когда в качестве модификатора использовался фторопласт.

Результаты экспериментов по повышению ПТР полипропилена

Таблица 24

№	№ образца	Условия проведения измерений	Результат измерений
1	П5 (контрольный)	T=154°C P=2.16 кг	ПТР=0,97 г/10 мин
2	П11 (после СВМ-обработки с модификатором)	T=150°C	У образца невозможно измерить ПТР. Образец при данной температуре имеет слишком низкую вязкость
3	П4 (после СВМ-обработки без модификатора)	T=152°C	У образца невозможно измерить ПТР. Образец при данной температуре является твёрдым телом.
		T=159°C	У образца невозможно измерить ПТР. Образец при данной температуре является твёрдым телом
		T=168°C	ПТР=5,4 г/10 мин

1. Образец П5 был отлит из расплава полипропилена без всякого дополнительного воздействия на него.

2. Образец П4 был отлит из расплава полипропилена при обработке СВМ-генератором без модификаторов.

3. Образец П11 был отлит из расплава полипропилена при обработке СВМ-генератором, в качестве модификатора в генераторе СВМ использовалось вещество **КОМПЛЕН М РР 5Х**. Модификатор в физическом виде в расплав НЕ ДОБАВЛЯЛСЯ.

4. После этого все три образца были последовательно расплавлены с целью определения температуры плавления и ПТР.

5. Образец П11 при $T=150^{\circ}\text{C}$ находится в жидком состоянии, образец П4 при $T=168^{\circ}\text{C}$ имеет ПТР=5,4 г/10 мин, а образец П5 при $T=154^{\circ}\text{C}$ и $P=2.16$ кг имеет ПТР=0,97 г/10 мин

6. Исходя из результатов измерений можно сделать вывод, что контрольный образец П5 по ПТР существенно отличается от образцов П4 и П11. При этом образец П11 обладает самой высокой текучестью среди испытанных образцов.

Измерение температуры плавления полипропилена

Таблица 25

№	№ образца	Диапазон температуры плавления, °C	Средняя температура плавления единичного измерения, °C	Средняя температура плавления образца, °C
1	П5 (контрольный)	149-155 152-168 155-162	152 160 158,5	156,8
2	П11	145-147 144-146 147-149 145-148	146 145 148 146,5	146,4
3	П4	154-160 154-156 153-157	157 155 155	156,6
4	П7	152-157 153-155 154-156	154,5 154 155	154,5

1. Большие интервалы температуры плавления образцов свидетельствуют о неоднородности их состава.
2. Температура плавления образца П11 существенно ниже и составляет $146,4^{\circ}\text{C}$

Исследование влияния СВМ-обработки на механические характеристики стеклопластиков

5. Исследование влияние СВМ-обработки на физико-механические характеристики стеклопластика на основе винилэфирной смолы К-15ВЭС

Испытаниям подверглись 2 группы из образцов стеклопластика, изготовленных из винилэфирной смолы К-15ВЭС в состоянии поставки и из смолы, подвергнутой воздействию СВМ-обработки (обработанные образцы) и стеклоткани Э3-200.

Испытания проводились методом трехточечного изгиба образцов стеклопластика на оборудовании ОАО «Пермские Полиэфирь»

Характеристика	Значение характеристик (усреднённое)			
	Без обработки	С обработкой (фторопласт)	Изменения	
Напряжения разрушения (Мпа)	310,7	346,25	35,55	11,4%

Вывод: физико-механические характеристики стеклопластика на основе винилэфирной смолы К-15ВЭС, подвергнутой воздействию СВМ-обработки повысились по сравнению с образцами на основе смолы в состоянии поставки на 11%.

Рис. 33. Стеклопластики.

Исследование влияния СВМ-обработки форполимера СКУ-ПФЛ на физико-механические характеристики отвержденного полиуретанмочевинного эластомера на его основе

Деформация при растяжении (Перемещение) [%]							
	напряжение при деформации и 100% (модуль) [МПа]	относительная критическая деформация [%]	условная прочность (прочность при разрыве) [МПа]	Площадь [мм ²]	скорость растяжения [mm/min]	максимальная прочность [МПа]	Остаточная деформация, %
1	16,23	359	43,84	3,08	500	43,84	4
2	14,70	418	52,74	3,20	500	52,74	5
3	15,64	419	51,96	3,31	500	51,96	5

Рис. 34. Образец без обработки.

Деформация при растяжении (Перемещение) [%]							
	напряжение при деформации и 100% (модуль) [МПа]	относительная критическая деформация [%]	условная прочность (прочность при разрыве) [МПа]	Площадь [мм ²]	скорость растяжения [mm/min]	максимальная прочность [МПа]	Остаточная деформация, %
1	13,93	443	51,91	4,70	500	51,91	0
2	14,11	357	39,45	4,88	500	39,45	0
3	13,87	448	54,19	4,59	500	54,19	0
4	13,96	448	53,12	4,88	500	53,12	1
5	14,10	423	50,65	4,70	500	50,65	1
6	14,44	340	37,72	4,55	500	37,72	0

Рис. 35. Образец после обработки.

Выводы

1. У исходного образца условный модуль находится в диапазоне 14,7–16,2 МПа. Использование обработанных форполимеров привело к небольшому уменьшению данного параметра (13,9-14,4 МПа).

2. При исходном уровне критических деформаций 359-419% обработанные форполимеры дали 340-448%. Т.е. увеличился разброс по величине при отсутствии явных трендов.

3. Аналогичный результат получен был на величине прочности. Для исходного образца прочность в диапазоне 43,8-52,7 МПа, у образцов на основе обработанных форполимеров диапазон разброса 37,7-54,2 МПа.

4. Характер графика зависимости напряжения от деформации не изменился.

5. Изменились величины остаточных деформаций. Для исходного образца данный параметр равен 4-5%, для образцов на основе обработанных форполимеров 0-1%.

Фотографии срезов пластин из отвержденной полиэфирной смолы на атомном сканирующем микроскопе

Структура поверхности крупнозернистая:



Рис. 36. Срез пластины из необработанной смолы.

Если игнорировать попавший в кадр мусор, то структура основной поверхности более плотная и мелкозернистая:

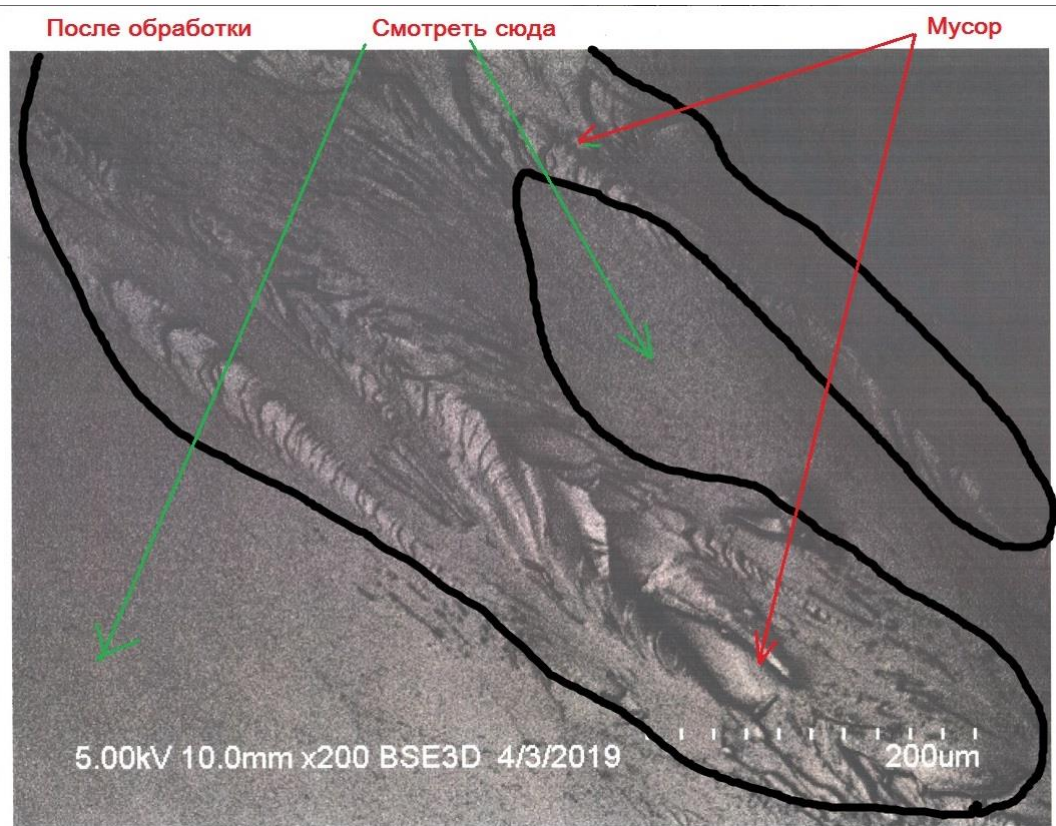


Рис. 37. Срез пластины из обработанной смолы.

§ 12. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2014-16 годах и в 2022 году пермской группой были проведены исследования по применению «информационных» устройств с целью разработки оборудования для биологической защиты. В основе разработки лежит идея резонанса в биологических системах под действием «информационного» поля на резонансных частотах.

В микробиологической лаборатории ПГНИУ было проведено исследование влияния «информационного» поля специально разработанного пассивного магнито-поляризованного объекта (МПО-излучателя) на культуры плесневых грибов в пшеничной муке и в питательной среде. Наблюдалось снижение на 50–80% скорости роста плесневых грибов рода *Aspergillus* за первые 5–10 суток. Аналогичные результаты показали эксперименты по защите от плесени хлебобулочной продукции.

МПО-излучатель представляет собой небольшой цилиндр из затвердевшей смолы, воска, парафина и т.п. материалов, который в процессе отверждения был облучен СВМ-генератором совместно с генератором частот, подавляющих жизнедеятельность грибков и микроорганизмов.

Проведённые эксперименты подтверждают, что направленность защитного действия разработанного оборудования определяется спектром резонансных частот, к которым чувствительны биологические организмы. В настоящей работе за исходную основу были взяты таблицы резонансных частот Р. Райфа, впервые опубликованные в середине прошлого века. Имеется возможность как избирательного действия на отдельные виды организмов, например, разные виды плесени, так и расширенного действия.

На основе полученных результатов созданы и предложены к применению экологически безопасные средства бактерицидной защиты пищевой продукции, обеспечивающие снижение экономических потерь и способствующие повышению уровня здоровья населения. Разработано аналогичное оборудование дезинсекционного действия (противодействие насекомым).

Для дальнейших биологических и медицинских исследований перспективными представляются конструкции «информационных» генераторов и подобных им устройств, в которых в качестве активных элементов используются различные светодиоды и светодиодные матрицы, свето-

волоконные формирующие элементы, а также электропроводящие жидкости и гели, обеспечивающие ионную проводимость.

Все предлагаемые типы устройств могут совершенствоваться по мере расширения технологических возможностей.

На рис. 38 показано замедление роста колоний плесневых грибов в магнитно-поляризованном поле МПО за 5 суток. Верхние чашки – контрольные.

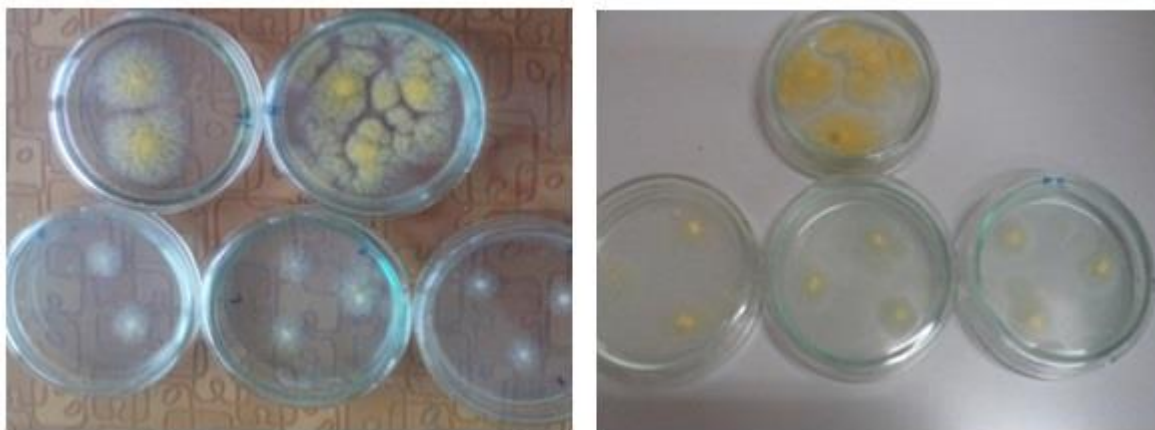


Рис. 38. Колонии плесневых грибов.

На рис. 39 показан эксперимент, проведенный в 2022 году. Куски хлеба ровно 30 суток пролежали в полиэтиленовых пакетах на расстоянии не менее 3 м друг от друга и в одинаковых климатических условиях (+22°C круглосуточно). Справа – контрольный образец. МПО №1 был обработан частотами, поддерживающими жизнедеятельность грибов, МПО №2 – подавляющими рост плесневых грибов. Как видно на фото, на куске, рядом с которым стоял МПО №2, произошло 100% подавление роста плесени.

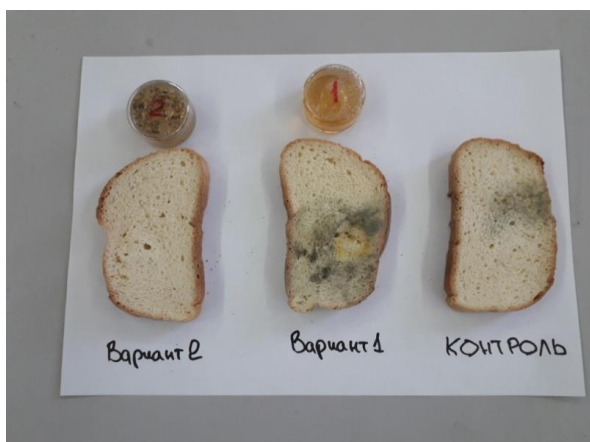


Рис. 39. Подавление и поддержание роста плесени под воздействием СВМ-генератора.

§ 13. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВМ-ТЕХНОЛОГИИ

1. Получать материалы с заданными свойствами.
2. Существенно снизить потребность в дорогостоящих легирующих добавках для изготовления сталей и сплавов.
3. Увеличить сроки живучести авиационных лопаток в 2–3 раза.
4. Увеличить выпуск хладостойких конструкционных сталей для нужд строительства в северных широтах.
5. Решить задачу возврата в строй запчастей, превысивших срок хранения, путем СВМ-обработки во время нагрева под закалку или нормализации.
6. Снизить массу конструкций космических аппаратов, самолётов, кораблей, и увеличить их полезную нагрузку.
7. Вернуть былое качество артиллерийских стволов и даже превзойти его.
8. Увеличить стойкость корпусов летательных аппаратов к воздействию температуры и радиации.
9. Решить задачу уменьшения времени полимеризации твердотопливных зарядов.
10. Решить задачу увеличения эффективного импульса твердотопливных зарядов.
11. 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.
12. Создать рельсовые стали с минимальным коэффициентом температурного расширения и меньшей себестоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шипов Г. И. Теория физического вакуума: Теория, эксперименты и технологии. 2-е. изд. – М.: Наука, 1996 г. – 450 с.
2. Бояршинов А. Е., Ключев А. В., Кокарева Н. А., Курапов С. А., Панов В. Ф., Стрелков В. В. Структура и механические свойства металла после обработки расплава в нестационарном электромагнитном поле волнового излучателя. – *Металловедение и термическая обработка металлов*. №7 (649), 2009 г. – С. 3–9
3. Панов В.Ф., Курапов С.А., Бояршинов А.Е. Структура и механические свойства металла после обработки расплава электромагнитным излучателем. – *Метафизика. Научный журнал*. 2012 г, №2(4), стр.126-139.
4. Панов В. Ф., Бояршинов А. Е., Ключев А. В., Курапов В. А. Некоторые эффекты воздействия СВМ-генератора на расплавы металлов и полимерных материалов. – *Метафизика. Научный журнал*. 2020 г., №4(38), стр. 89–101.
5. Владимиров Ю. С. Реляционная теория пространства – времени и взаимодействий. Ч. 2: Теория физических взаимодействий. М.: Изд. МГУ, 1998. 448 с.
6. Владимиров Ю. С. Метафизика и фундаментальная физика. Кн. 3: Реляционные основания искомой парадигмы. М.: ЛЕНАНД, 2018. 256 с.
7. Губарев Е. А. Принципы реальной относительности. – М.: Фонд перспективных технологий и инноваций, 2020 г. – 336 с.
8. Бучаченко А. Л. Ядерно-спиновая селективность химических реакций. «Успехи химии», 1995, т. 64, стр. 863
9. Бучаченко А. Л., Молин Ю. Н., Сагдеев Р. З., Салихов К. М., Франкевич Е. Л. Магнитно-спиновые эффекты в химических реакциях, «Успехи физических наук», т.151, № 1, 1987 – сообщения с научной сессии Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики Академии наук СССР 25-26.06.1986.
10. Цвелик А. М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. Перевод с английского – М.: Физматлит, 2002 – р. 320
11. Патент 2324575 РФ. Бояршинов А. Е., Ключев А. В., Кокарева Н. А., Курапов С. А., Панов В. Ф., Стрелков В. В. Способ обработки расплавленных материалов электромагнитными полями. Опубликовано 20.05.2008, Бюл. №14.

12. Патент 2336612 РФ. Бояршинов А. Е., Ключев А. В., Кокарева Н. А., Курапов С. А., Панов В. Ф., Стрелков В. В. Электромагнитная антенна. Опубликовано 20.10.2008, Бюл. №29.

13. Патент 2403126 РФ. Бояршинов А. Е., Ключев А. В., Кокарева Н. А., Курапов С. А., Панов В. Ф., Стрелков В. В. Способ обработки расплавленных сплавов электромагнитными полями и устройство для его осуществления. Опубликовано 10.11.2010, Бюл. №31.

14. Панов В. Ф., Ключев А. В., Курапов С. А., и др. Полевое глубинное воздействие на расплавы металла: Сб. статей по материалам Второй международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». М.: ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН, 2007. С. 144.

15. Ключев А. В., Курапов С. А., Панов В. Ф., Стрелков В. В., Кокарева Н. А., Бояршинов А. Е. Улучшение физико-механических свойств чёрных и цветных металлов при обработке расплава в нестационарном электромагнитном поле волнового излучателя. // Тезисы докладов. Шестой международный аэрокосмический конгресс. IAC`09. (23–27 августа 2009г., Москва, Россия) / Стр.108.

16. S. A. Kurapov, V. F. Panov, A. E. Boyarshinov, A. V. Klyuev, V. V. Strelkov, N. A. Kokareva. Structure and mechanical properties of metal after treatment of melt in nonstationary electromagnetic field of a wave generator. *Metal Science and Heat Treatment*. Vol. 51, Nos. 7 – 8, 2009. 0026-0673/09/0708-0319 © 2009 Springer Science + Business Media, Inc.

17. Патент 2149385 РФ. Панов В. Ф., Стрелков В. В., Юшков В. В., Юшкова Т. А. Устройство для воздействия на структуру и функцию биологических систем и свойства материалов. Опубликовано 20.05.2000. Бюл. № 14.

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ, ГДЕ ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предприятия металлургической отрасли

ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь
ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ», г. Орск
ОАО «Тулачермет», г. Тула
ОАО «Северский трубный завод», г. Полевской
ОАО «Уралмаш», г. Екатеринбург
ОАО НЛМК, г. Липецк
ПАО ММК, г. Магнитогорск
ПЗЦМ, г. Пермь
ООО «ЗКЗ», г. Омск
Арселор-Миттал, г. Кривой Рог, Украина
Metallurgical plant, Konya, Turkey
ThyssenKrupp Steel AG, Dortmund, Germany

Предприятия ВПК

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь
ПАО ПНППК, г. Пермь
АО ПЗ «Машиностроитель», г. Пермь
ФГУП «Салют», г. Москва
ЦКБ им. Ильюшина, г. Москва
ООО «НовосибНИАТ», г. Новосибирск

Научно-исследовательские учреждения

ЦНИИКМ «Прометей», г. С.-Петербург
ЦНИИТМАШ, г. Москва
ВИЛС, г. Москва
ВИАМ, г. Москва
Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск
Научный центр порошкового материаловедения, г. Пермь

Уральский Государственный Лесотехнический университет,
г. Екатеринбург

ОАО «Пермские полиэфиры», г. Пермь

ПГНИУ, г. Пермь

Научное издание

Панов Вячеслав Федорович,
профессор кафедры высшей математики ПГНИУ,
д-р физ.-мат. наук, профессор, *panov@psu.ru*

Бояршинов Андрей Евгеньевич,
директор ООО «Агрегат» г. Пермь, *svt-perm@mail.ru*

Ошмарин Александр Николаевич,
директор ООО «Сталь-59» г. Пермь, *4782084@mail.ru*

Сандакова Ольга Васильевна,
доцент кафедры высшей математики ПГНИУ,
канд. физ.-мат. наук, *o_sandakova@list.ru*

Эффекты воздействия СВМ-генератора на металлы и полимеры

Монография

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка: *О. Н. Бастырева*

Объем данных 4,16 Мб
Подписано к использованию 28.07.2022

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15