



СВМ-ТЕХНОЛОГИИ

ООО «Сталь-59»

15 лет исследований в области металлургии

До обработки
(контрольный образец)



После обработки
СВМ-технологией



Микроструктура стали 110Г13Л в литом состоянии

В Перми разработан генератор нестационарного электромагнитного поля для обработки расплава непосредственно в печи, получивший название СВМ-генератор (СВМ - структурно-фазовая волновая магниторезонансная обработка). С помощью этого генератора получен эффект глубинного и объемного влияния на расплавы черных металлов, улучшение структуры и механических характеристик литья.



Разработчики технологии:

С. А. КУРАПОВ

В. Ф. ПАНОВ, д-р физ.-мат. наук

А. Е. БОЯРШИНОВ

А. В. КЛЮЕВ

С применением волновой обработки проведено более 200 производственных плавов общей массой около 8500 т объёмом от 60 т до 400 т и свыше 300 производственных и опытных плавов на малых объёмах (50 – 280 кг).

Для изучения свойств металла, прошедшего волновую обработку, были выбраны следующие изделия: валки холодного проката (кованые, лито-кованые), направляющие ролики, валки горячего проката, валы, штамповые кубики, лист горячекатаный, литые изделия.

Исследования проводили на различных этапах технологического цикла: после заливки (пробники и приливные пробы), после термической обработки, на финале изготовления. Исследовали макро- и микро-структуру, механические свойства, проводили газовый анализ и ультразвуковой контроль.

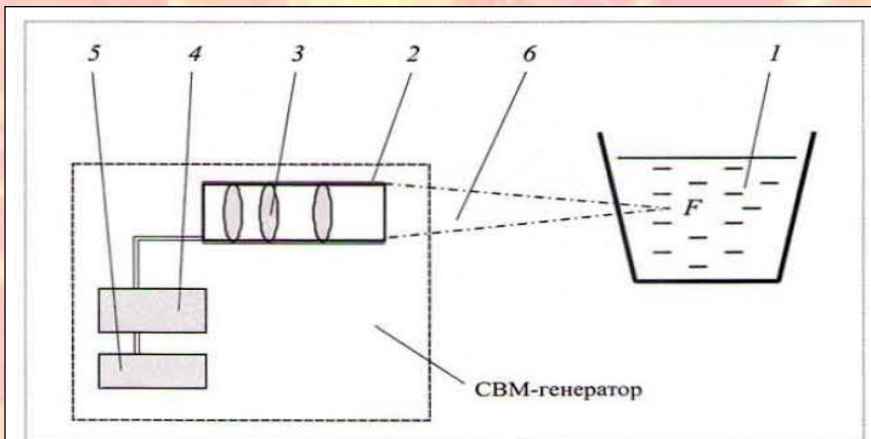


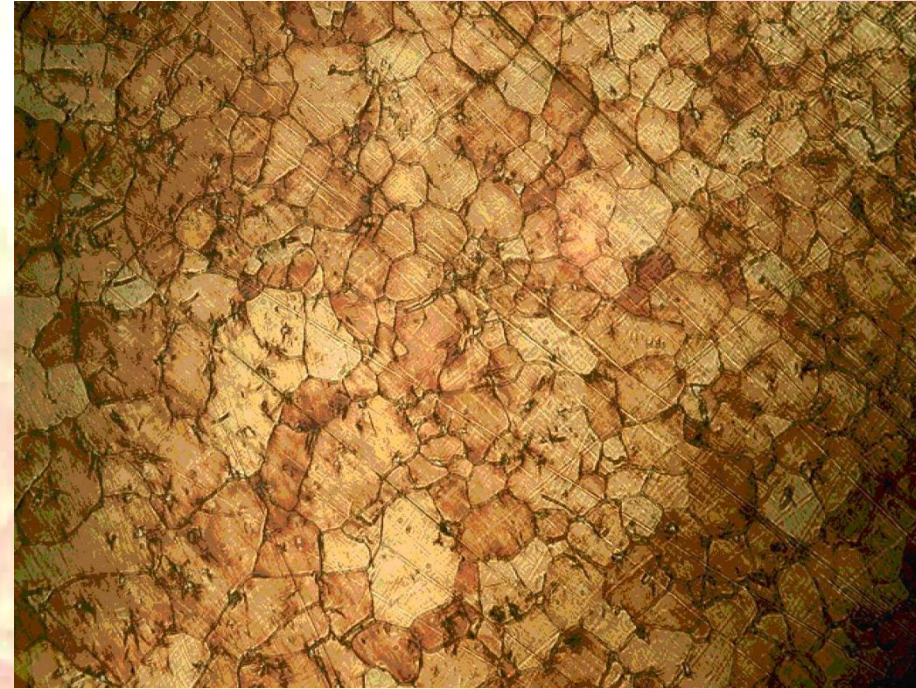
Рис. 1. Схема волновой обработки расплава:

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.



Плавка №1813. Контроль. Крупное аустенитное зерно 1-2 балла. Выделения карбидов. Увеличение x100.



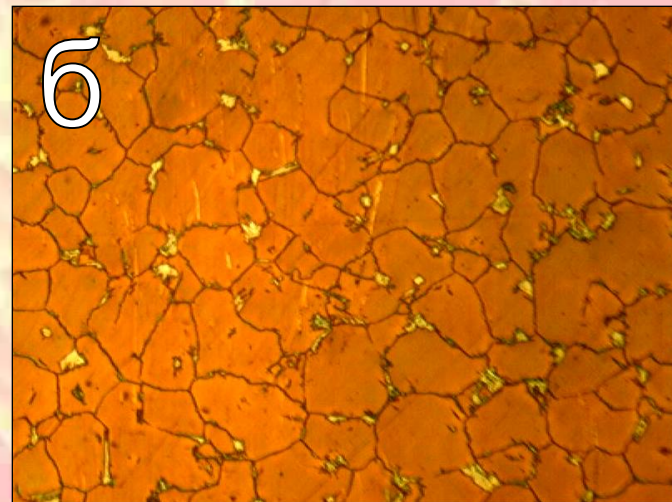
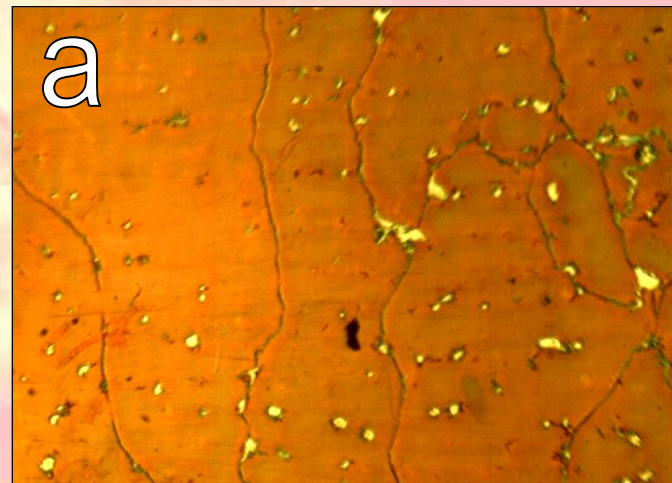
Плавка №1817, образец после СВМ-обработки. Мелкое аустенитное зерно 4.5-5 баллов. Выделения карбидов минимальные. Увеличение x100.

Микроструктура стали 110Г13Л (сталь Гатфильда) аустенитного класса 2003. Пермь

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.

Результаты исследования позволяют утверждать о повышении пластических свойств стали при сохранении прочностных.

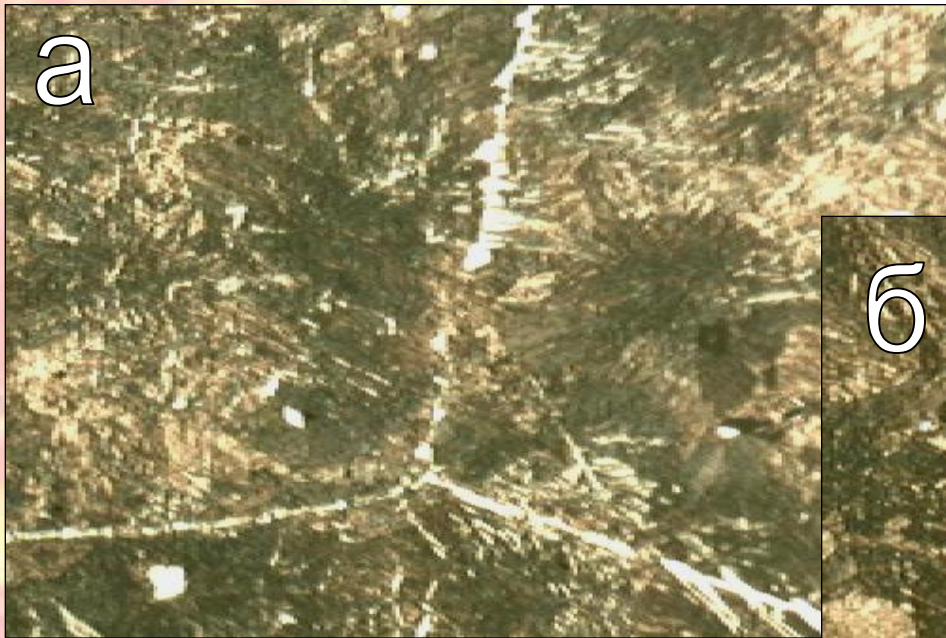
У феррит - перлитных сталей наблюдаются изменения в фазовом составе в сторону увеличения количества перлита. Снижается химический градиент фаз, границы фаз становятся более размытыми.



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

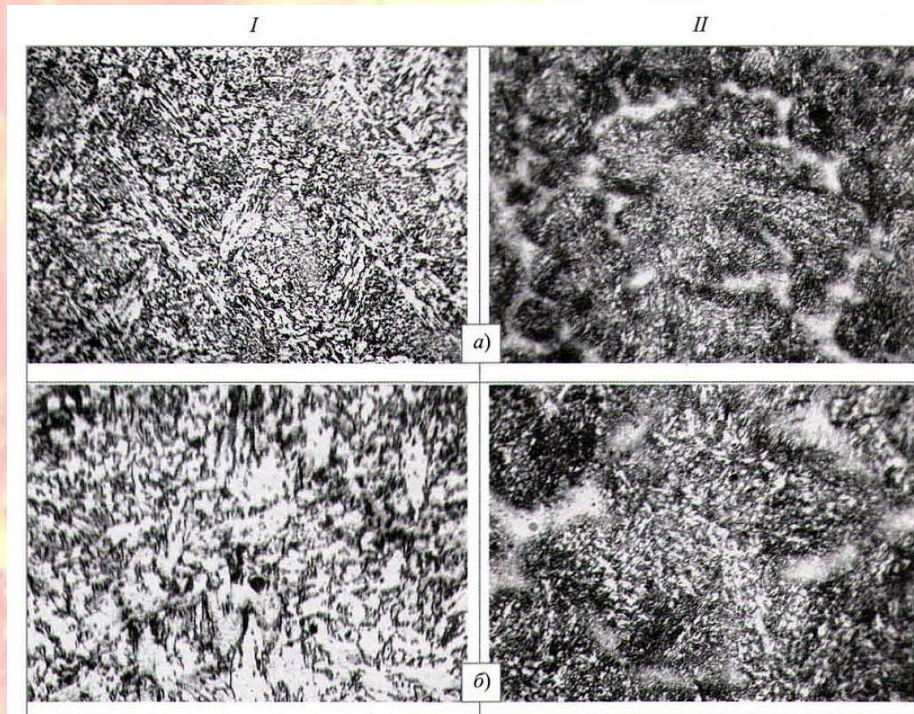


Сталь 35ХГСЛ (x100)

а) - контрольный образец

(ферритная сетка, видманштет 2-3 балл, перлитные и ферритные зерна)

б) - после волновой обработки; зерна феррита и перлита



С помощью обработки СВМ – полем, у стали 35ХГСЛ удавалось довести уровень механических свойств до стали 10ХНЗМДЛ, цена которой более чем в 7 раз выше, чем сталь 35ХГСЛ. Что дало бы экономию более 50 000 р на тонну при замене 10ХНЗМДЛ на 35ХГСЛ.

У стали 10ХНЗМДЛ, обработанной с помощью СВМ – генератора, удалось повысить показатель ударной вязкости как при +20°C так и при -50°C, более чем на 50%, при сохранении тех же прочностных характеристиках.

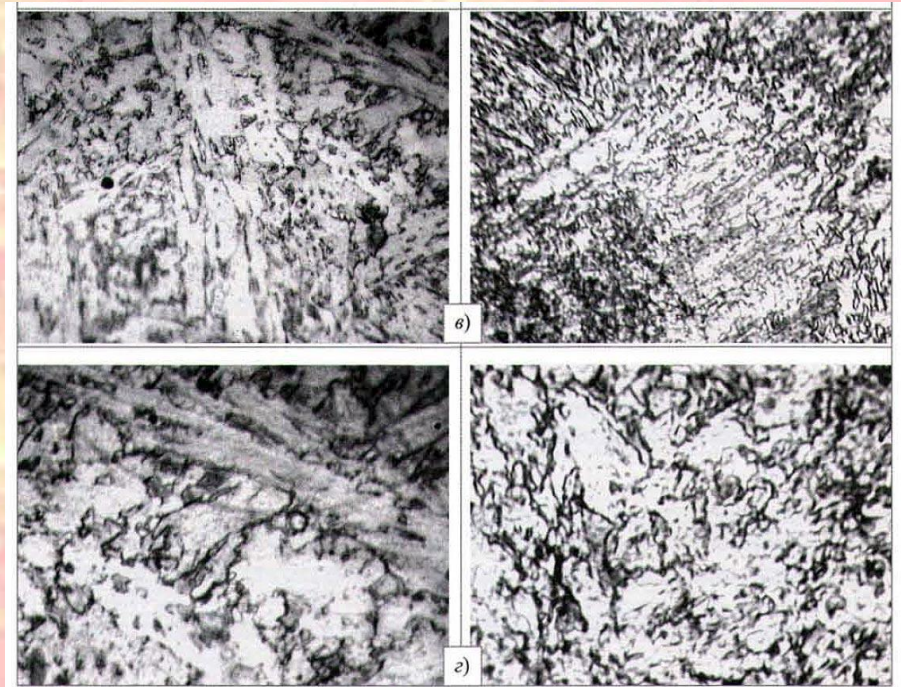


Рис. 5. Микроструктура образцов необработанной (I) и обработанной (II) стали 10ХНЗМДЛ при различном увеличении:

а — $\times 517$; б — $\times 1300$; в — $\times 2200$; г — $\times 4200$

Белый передельный чугун, чушки полупродукта для металлургической промышленности.

Контроль, образец 34-2
трещины, раковины



Обработанный СВМ. Образец 38
Отсутствие трещин и раковин



СВМ-обработка позволила сократить процент потерь (крошья) при многократной перегрузке на 5%, что на таком предприятии как Тулачермет составило 82 т в день или экономия 300 000 000 р в год.

Влияние волновой обработки на структуру, фазовый состав и механические свойства сталей

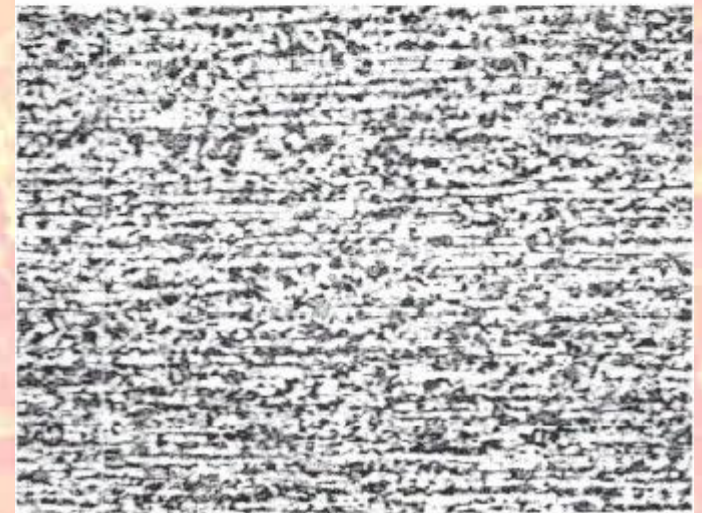
Микроструктура стали 20ХГНМ после прокатки

Внизу без СВМ-обработки (феррито-перлит
явно выраженная полосчатость)

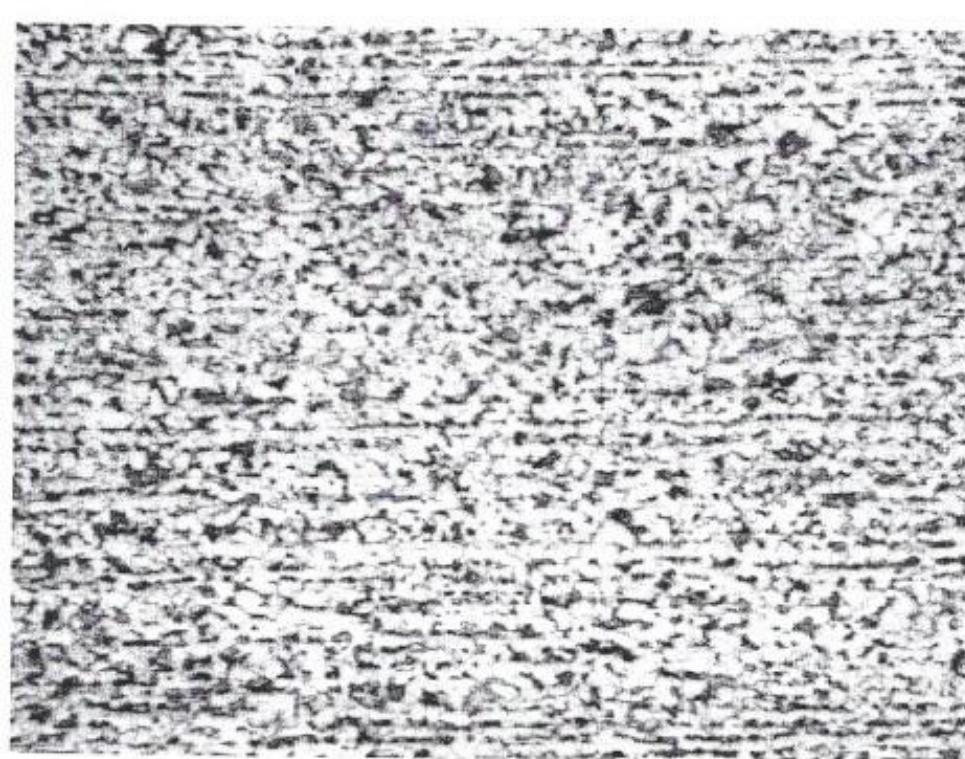
Вверху после СВМ-обработки (бейнит,
отсутствие полосчатости)



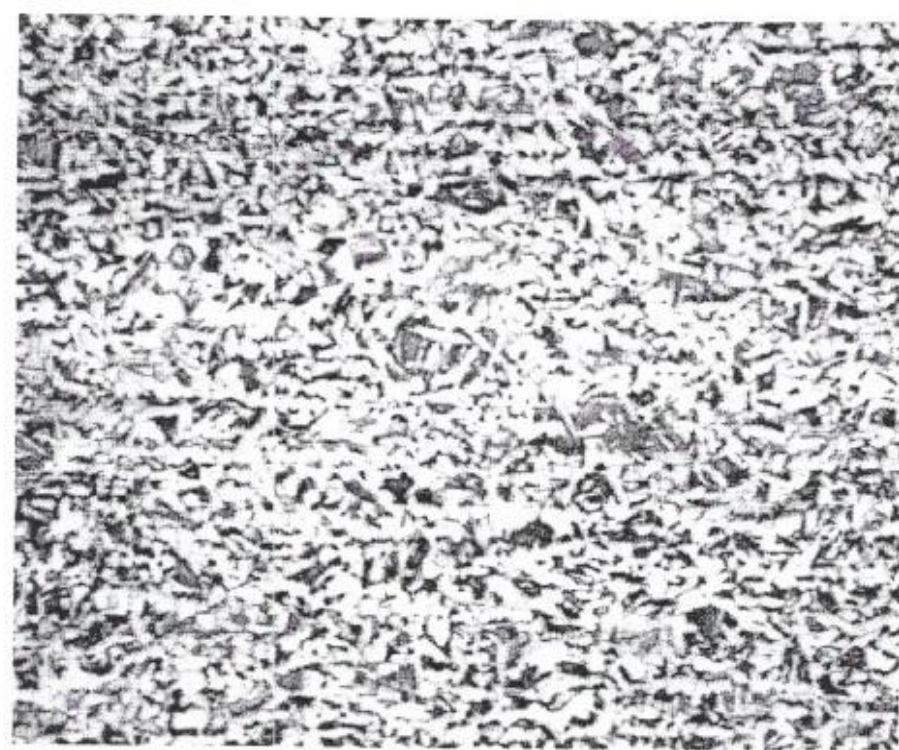
Образец с ОРП (бейнит) x125



Образец без ОРП (феррито-перлит) x125



Образец без ОРП x100



Образец с ОРП x100

Сталь 20, без СВМ-обработки.
Явно выраженная структурная полосчатость.

Сталь 20, после СВМ-обработки.
Слабо выраженная структурная
полосчатость.

**Микроструктура стали 20 после прокатки
2008 г., ЦНИИТМаш, Москва**

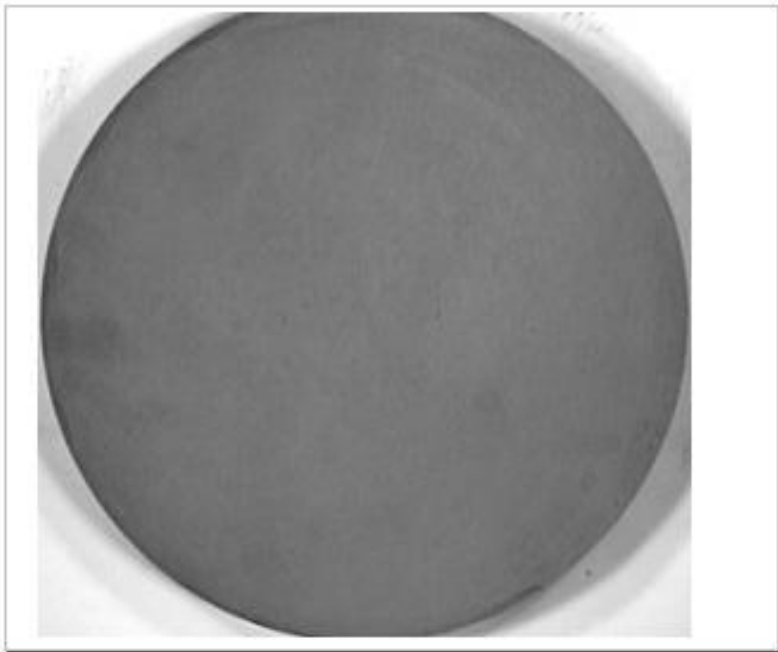


Рис.1. Макроструктура металла
образца №4-221.

1:3

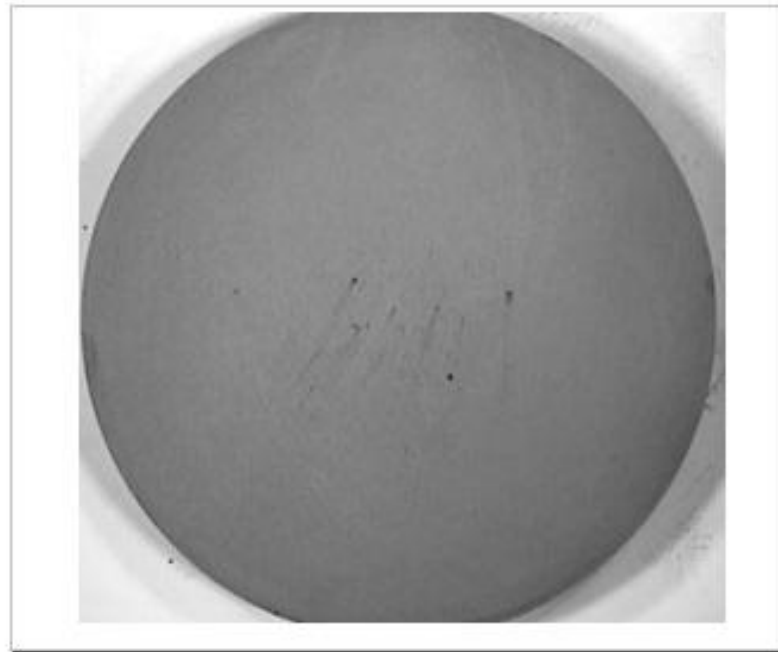


Рис.2. Макроструктура металла
образца №4-144.

1:3

После СВМ-обработки

Без СВМ-обработки

**Макроструктура стали 6ХВ2С
2014 г, Украина**

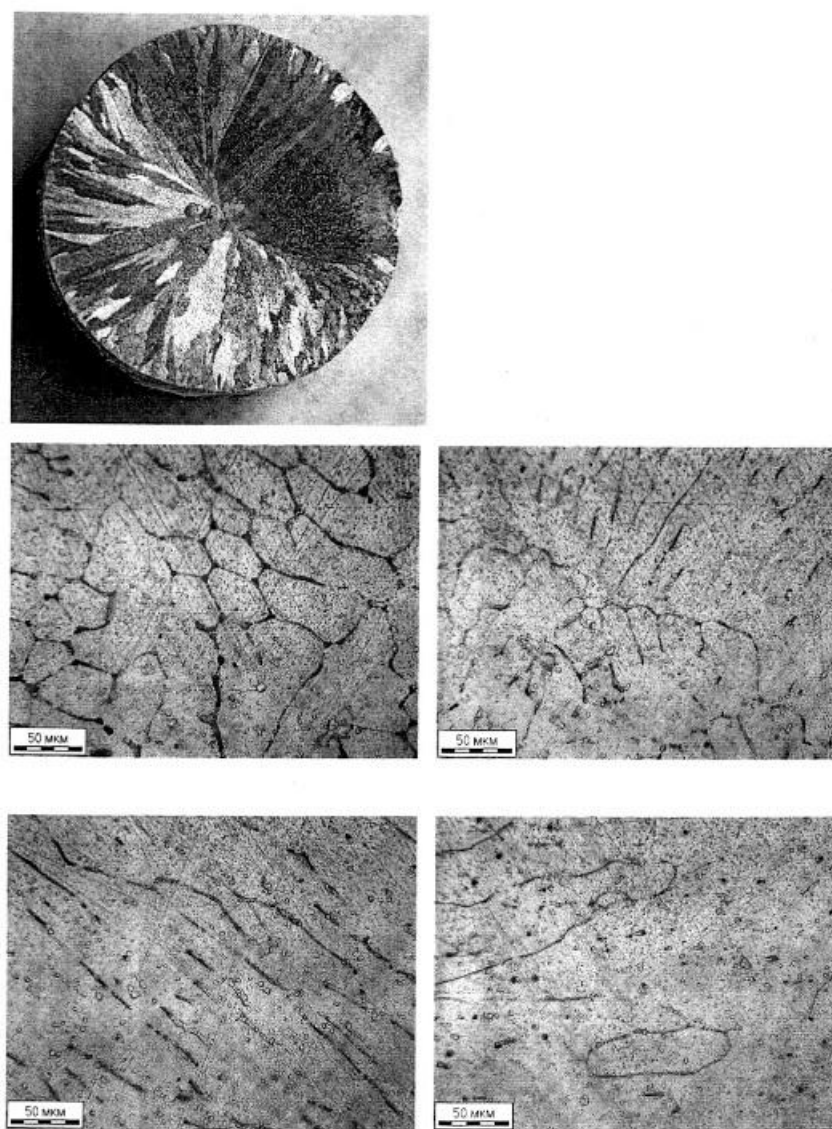


Рис.19. Макро- (а) и микроструктура (б-д) образца 1.4.

Макро- и микроструктура алюминия А7 без СВМ-обработки

ФизТех УРО РАН, Ижевск

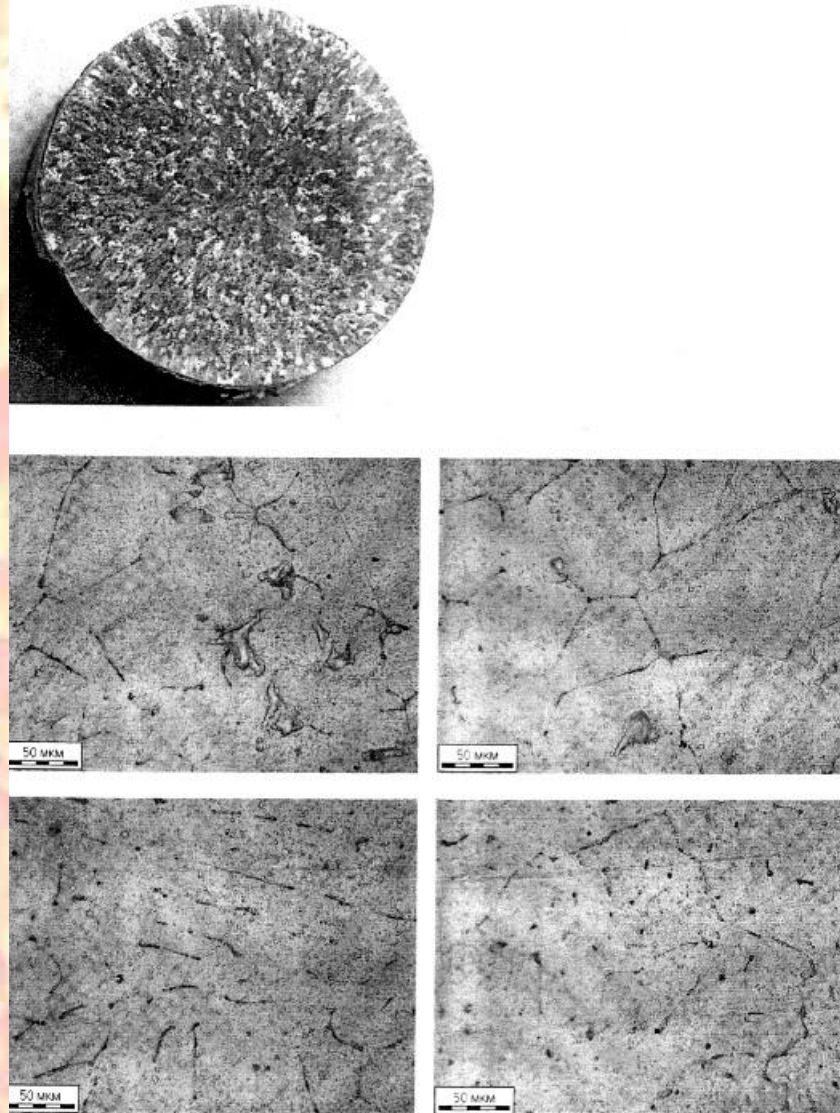


Рис.22. Макро- (а) и микроструктура (б-д) образца 2.10.

Макро и микроструктура алюминия А7 без СВМ-обработки
ФизТех УРО РАН, Ижевск

Таблица 2 Неметаллические включения

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

Таблица испытаний на неметаллические включения сталей 20, 20ХГНМ, 02Х22Н5АМЗ без и с СВМ-обработкой.

С - сульфиды, ОС – оксиды строчечные, ОТ – оксиды точечные

2008 г., ЦНИИТМаш, Москва

Марка стали	Предел ткучест $\sigma_{т}$ 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 35ХГСЛ после СВМ-обработки в сравнении с высоколегированной сталью 10ХНЗМДЛ

2008 г., Пермь

Мех. свойства	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU (+20°C), Дж/см ²	KCU (-50°C), Дж/см ²
10ХНЗМДЛ РГ115-95 ТУ	883	940	10	20	38,3	19,6
10ХНЗМДЛ СВМ-обработка >200 плавов	900-1120	950-1180	13-18	42-58	65,0-90,0	29,0-55,0

35Л ГОСТ 977-88 Мотовилих. заводы	350	550	16	20	30,0	
35Л СВМ-обработка >40 плавов	620-660	830-890	16	35-44	50,0-69,0	29,9-43,0

40ХЛ ГОСТ 977-88 Мотовилих. заводы	650	500	12	25	40,0	
40ХЛ СВМ-обработка >30 плавов	700-730	790-900	14-18	36-52	70-105,0	25-57

35ХГСЛ ГОСТ 977-88 Мотовилих. заводы	600	800	10	20	40,0	14,0
35ХГСЛ СВМ-обработка <10 плавов	883-900	990-1000	12,0-12,5	36-39	69,6-82,7	34,3-36,8

Механические свойства сталей, обработанных по СВМ-технологии, после нормализации и отпуска

2003-2008 г., Пермь

Мех. свойства	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	KCU (+20°C), Дж/см ²	KCU (-40°C), Дж/см ²	KCU (-70°C), Дж/см ²
09Г2С ГОСТ 19282-73 Лист 16-18 мм Мотовилих. заводы	≥325	≥470	≥21	≥29	≥34	≥29
09Г2С Лист 16-18 мм СВМ-обработка >20 плавок	340- 370	530- 560	26-32	88-130	40-122	36-120

Механические свойства сталей, обработанных по СВМ-технологии, после нормализации и отпуска

2003-2008 г., г.Пермь

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 плавок	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 плавок	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 плавок	784	1033	12	300	36	2-3

Механические свойства сталей, обработанных по СВМ-технологии, после нормализации и отпуска на ОАО «ОРМЕТО-ЮУМЗ»

2003-2008 г., Орск

Результаты сравнительных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии стали SAF 2205 (02X22H5ФМ3) ускоренным химическим методом (10% раствора FeCl₃, τ – 48 часов)

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

Состояние металла	Температура испытания, °С	Состояние поверхности	Показатели скорости коррозии, средние значения по результатам испытаний двух образцов.	
			г/м ² кг	мм/год
Послековки 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
Послековки 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

**Результаты испытаний на питтинговую коррозию стали SAF 2205 (02X22H5ФМ3) ускоренным химическим методом (10% раствор FeCl₃, 48 часов)
2008 г., ЦНИИТМаш, Москва**

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



Результаты испытаний образцов из сплава ЖС6У на длительную прочность.

2005г, Пермь

Список предприятий, на которых проводились исследования

- В течение ряда лет проводились испытания метода на российских предприятиях: 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, и ряд других;

На предприятиях авиапрома:

- ОАО «Пермские моторы», г.Пермь
- ФГУП «Салют», г.Москва,
- ЦКБ им.Илюшина, г.Москва;
- ООО «НовосибНИАТ», г.Новосибирск;

В научно-исследовательских учреждениях:

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

Имеются все научно-исследовательские и производственные отчёты.

СВМ-технологии в металлургии

Компания	Годы работ	Основные достигнутые результаты (кратко)	Экономика
ООО «Точлит», ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь	2004-2007	Замена стали 10ХН3МДЛ (86 т. р./т) на сталь 35ХГСЛ, обработанную СВМ, (12 т.р./т.) Уменьшение размеров зерна стали 110Г13Л с 1-2 до 4-5 Исчезновение брака изделий из 10ХН3МДЛ Увеличение Кси при -70 С до >120 стали 09Г2С (при норме 29)	Замена стали 10ХН3МДЛ (86 т. р./т) на сталь 35ХГСЛ, обработанную СВМ, (12 т.р./т.) По стали 10ХН3МДЛ (ключ КМБ, стоимость одного ключа около 200 000 руб) - снижение брака с 5 до 1 % - сокращение производственного цикла на 2 недели - исключение из цикла режима гомогенизации (27 ч проковки при t=1000 град.С)
ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ», г.Орск ООО «УК Металлинвест»	2006-2007	Экономия до 88% легирующих элементов, повышение износостойкости изделий на 20% и более. Уменьшение брака на сложных изделиях почти до 0%	Исключение из процесса литья стали 40ХМА легирующих редкоземельных элементов – экономия до 18000 руб с тонны металла. На 2007 г. выпускалось 12 000 т стали 40ХМА. Общий эффект составляет 216 000 000 рублей

СВМ-технологии в металлургии

Компания	Годы работ	Основные достигнутые результаты (кратко)	Экономика
ОАО «Тулачермет», г. Тула	2008	Уменьшение крошья при перевозке чушек до 20%	Тулачермет производит в день 8000 тонн чугуна. Без СВМ-обработки в крошью уходило 428 тонн, с СВМ-обработкой 346 тонн. Экономия 82 тонны чугуна в день. При цене передельного чугуна 10000р/т экономия (на 2008 г) составляла 300 000 000 руб в год
ОАО «Северский трубный завод», г. Полевской	2003 - 2004	Забраковка дорнов с СВМ-обработкой для прокатки труб только по износу после увеличенного цикла работы изделий. Сетки разгара изделий нет. Разгаростойкость сталей СД-2 (25X2М1Ф) для трубопрокатного производства увеличивается в 2 раза.	Увеличение сроков службы в 2 раза, годовая потребность СТЗ - 600 дорнов в год, обработанных дорнов потребуется 300 шт. При цене дорна 400 000 р. экономия составит минимум 120 000 000 р. в год.
ООО «НовосибНИАТ», г. Новосибирск	2009	Увеличение $\sigma_{\text{разруш}}$ сплава Д16М с 7 до 13 кг/мм (даже в литом состоянии, без деформации и старения)	Возможная экономия веса конструкций в 1.5 – 2 раза.
		Россия, г. Пермь	

СВМ-технологии в металлургии

Компания	Годы работ	Основные достигнутые результаты (кратко)	Экономика
ЦНИИТМаш, г.Москва	2008	1. Уменьшение неметаллических включений в стали 022X22H5AM3 с 4.5 баллов до 0,5 2. Превращение перлит-ферритной полосчатой структуры стали 20ХГНМ в бейнит. 3. Уменьшение скорости коррозии стали SAF2205 в два раза.	Экономия до 250 000 руб на тонне стали SAF2205 (03X22H5AM)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Применение волновой обработки расплава с помощью СВМ-генератора позволяет получить: гарантированное улучшение структуры металла, что, в свою очередь, позволяет пересматривать режимы термической обработки; существенное повышение прочностных характеристик металла, позволяющее использовать менее легированные марки стали и чугуна; улучшение механических характеристик, что обуславливает повышение износостойкости выпускаемой продукции, например, валков, как минимум на 20%. Внедрение данного процесса в производство потребует отработки сквозной технологии: жидкая сталь – волновая СВМ-обработка - разливка - прокатка.

Попытка объяснения принципа действия генератора СВМ.

- Физический механизм управляющего воздействия генератора на расплав металла требует дальнейшего изучения и теоретического описания. Однако главным действующим фактором является электромагнитное поле, создаваемое излучателем СВМ-генератора.
- На наш взгляд, воздействие СВМ-генератора на расплав имеет два механизма, классический и квантовый. Для начала рассмотрим два варианта квантового механизма на основании следующих теорий:

• 1. Физика дальнего действия.

- В развиваемой Ю.С.Владимировым бинарной геометрофизике среди первичных понятий в принципе нет места для полей – переносчиков взаимодействий. В его подходе имеются лишь элементы (частицы) и отношения между ними. Это соответствует концепции дальнего действия альтернативной теории поля. В современной теоретической физике концепция дальнего действия представлена теорией прямого межчастичного взаимодействия Фоккера-Фейнмана. Сейчас эта теория составляет, можно сказать, боковую ветвь теоретической физики.
- Изложим суть теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера-Фейнмана. В отличие от бинарной геометрофизики (Ю.С. Владимирова) в теории Фоккера-Фейнмана постулируется классическое 4-мерное пространство-время и в него помещаются заряженные частицы. Поля и переносчики взаимодействий отсутствуют. Постулируется принцип действия Фоккера, согласно которому электромагнитные, а также иные взаимодействия между заряженными частицами описываются непосредственно через их характеристики.
- Выделим 2 произвольные частицы, присвоив им номера 1 и 2. Согласно принципу действия Фоккера их электромагнитное взаимодействие описывается следующим вкладом в классическое действие
- $$S_{\text{int}}(1,2) = -e_1 e_2 \iint \delta(s^2(1,2)) 2\mu_{\nu} dX_1^{\mu} dX_2^{\nu} =$$
- $$= -\iint j^{\mu}(1) j_{\mu}(2) \delta(s^2(1,2)) dS_1 dS_2 \quad (1)$$
- где e_1 и e_2 – электрические заряды двух частиц
- $j^{\mu}(1) = e_1 dX_1^{\mu} / dS_1$ - вектор 4-тока частицы с номером 1
- dX_1^{μ}, dX_2^{ν} - изменения координат
- dS_1, dS_2 - смещение вдоль мировых линий частиц
- $2\mu_{\nu}$ - метрический тензор пространства-времени Минковского
- $s^2(1,2)$ - квадрат интервала между точками на мировых линиях двух частиц
- $\delta(s^2(1,2)) = \delta(C_{12}^2 t_{12}^2 - r_{12}^2)$ δ -функция (2)
- Здесь t_{12}^2 и r_{12}^2 - промежуток времени и расстояние между положениями взаимодействующих частиц.

- Как видно из формулы (1) в неё не входят поля переносчиков взаимодействий. Взаимодействие определяется лишь характеристиками частиц. В теории прямого межчастичного взаимодействия можно ввести вторичные (вспомогательные) понятия, соответствующие потенциалам и напряженностям электромагнитного поля.
- В теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера-Фейнмана:
 - 1) Нет потенциалов поля в точках пространства-времени, где отсутствуют частицы, а, следовательно, и нет полевых уравнений Максвелла.
 - 2) Потенциалы электромагнитного взаимодействия можно ввести в местах расположения заряженных частиц, и для них выполняются тождества, соответствующие уравнениям Максвелла.
- Ю.С.Владимиров развил и углубил теорию прямого межчастичного взаимодействия Фоккера-Фейнмана на основе реляционной концепции пространства-времени с помощью бинарных структур. Теория Фоккера-Фейнмана подтверждена экспериментально.
- В стандартной электродинамике электромагнитное поле сильно затухает в расплаве металла, а вот в бинарной геометрофизике Ю.С.Владимирова в рамках прямого межчастичного взаимодействия ЭМ поле может проникать в расплав металл на любую глубину и влиять на процессы кристаллизации.

• 2. Эффект ААРОНОВА-БОМА

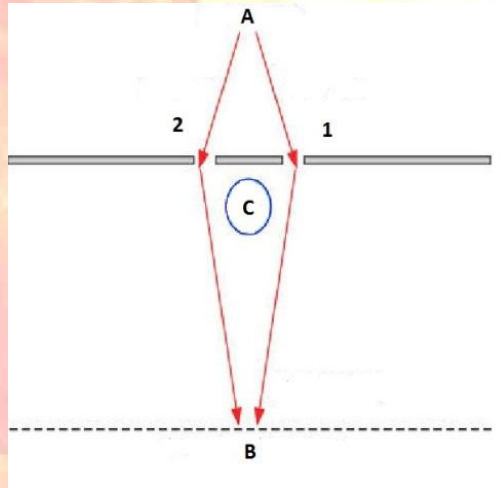
- Этот эффект связан с калибровочной инвариантностью электромагнитного взаимодействия. При движении заряженной частицы в электромагнитном поле фаза её волновой функции изменяется на величину

$$\Delta\phi = e \int A_m dX^m,$$
- где интеграл берётся вдоль траектории частицы. Если рассматривать интерференционную картину при распространении частиц в магнитном поле ($A_0 > 0, \vec{A} \neq 0$) по двум возможным путям (рис.1), то она определяется разностью фаз:

$$\Delta\phi_{12} = e \int A dX,$$
- где интеграл берётся по замкнутому контуру $A_1 B_2 A$. Таким образом, наблюдаемый эффект явно зависит от, казалось бы, фиктивной величины A_m .
- Можно поставить опыт так, что магнитное поле будет находиться внутри ограниченной области, например в длинном тонком соленоиде, а траектории частиц будут проходить вдали от этого соленоида. Но тем не менее дифракционная картина будет зависеть от поля в этом соленоиде. Этот эффект, называемый Эффектом Ааронова-Бомы наблюдается на эксперименте с полным соответствием с теорией – электроны откликаются на магнитное поле в области, куда они в принципе не могут попасть.

Рис.1

Интерференционный опыт, иллюстрирующий эффект Ааронова-Бома.



A1B и A2B - два возможных пути движения электронов. C – соленоид, создающий внутри магнитное поле. Могут возникнуть возражения, что ЭАБ мал и не может оказывать воздействия на расплавы металлов, на что мы можем ответить, что нам не известны работы по расчёту ЭАБ в металлах, и, возможно, мы имеем дело с модификацией этого эффекта.

• 3. Квантовый механизм воздействия

- В нескольких работах, эффект Ааронова – Бома анализируется для бесконечно длинного соленоида. Такая идеализация, при рассмотрении принципиальных вопросов, на наш взгляд, не вполне корректна. В связи с этим представляет особый интерес переход от бесконечного соленоида к конечному, свёрнутому в тороид, т. к. именно подобные контуры реализованы в обмотках излучателя СВМ – генератора.
- Задача о рассеянии заряженных частиц на тороидальном соленоиде имеет простое решение; сечение рассеяния оказывается, естественно, конечным и описывается дифракционными формулами. Следует отметить, что если заряженные частицы не попадут внутрь тороидального соленоида, рассеяние определяется величиной потока магнитного поля и не зависит от распределения поля по объёму соленоида. Вполне естественно, что в волновой картине электроны «чувствуют» топологическую структуру пространства (кольцо, «вырезанное» магнитным полем), эффект достаточно интересен тем, что не имеет классического аналога. Силы, удерживающие частицы в кристалле имеют ту же природу, что и межатомные силы, которые обуславливают образование молекул. Этими силами являются силы электростатического притяжения и отталкивания. В металле, внешние валентные электроны атомов коллективизируются и образуют газ или жидкость, заполняющие межионное пространство. Положительно заряженные ионы, стягиваются отрицательно заряженным электронным газом в кристалл.

- Связь в решетке металла возникает вследствие взаимодействия положительных ионов с электронным газом. Взаимодействие положительных ионов друг с другом не сводится только к их взаимному отталкиванию, а заключается также в перекрытии их внешних электронных оболочек, ведущем к образованию валентных связей.
- Именно это перекрытие и позволяет объяснить образование того или иного типа кристаллических структур.
- Процесс затвердевания расплава металла можно разделить на две ступени: первоначальное образование сиботаксических групп атомов, кластеров, или по другому говоря, зародышей кристаллов и последующий рост этих зародышей путём присоединения атомов и атомных групп из расплава. Принято считать, что процесс зародышеобразования, заключается в возникновении и росте агрегатов атомов (предполагается, что они имеют структуру кристаллизующегося твёрдого вещества). Колебания затвердевающего расплава как звуковые, так и ультразвуковые, увеличивают частоту возникновения зародышей. Этот процесс можно усилить и за счёт применения электромагнитных полей.
- В многоэлектронных атомах между электронами действуют не только кулоновские силы, но и обменные силы, связанные с тождественностью электронов. Обменная энергия не имеет классического аналога и носит сугубо квантовую природу. В процессе кристаллизации металла из расплава, играют роль как кулоновские, так и обменные силы между электронами.
- Поскольку электромагнитный потенциал Аронова - Бома, создаваемый СВМ – генератором, проникает в металл, он влияет на движение коллективизированных электронов в расплаве. При этом меняются квантовые обменные силы и происходят первичные изменения – на уровне кристаллической решетки и вторичные – на уровне изменений в микроструктуре. Явления в кристаллической решетке могут быть резонансными либо определяться изменением вероятности распределения электронов, по разным энергетическим состояниям.
- Воздействие магнитного поля и электромагнитных потенциалов, создаваемых генератором может приводить, посредством квантовых механизмов, к определённой поляризации спинов атомов расплава, что сказывается на характере изменений кристаллической решетки твёрдого металла.
- Изменения в кристаллической решетке могут быть связаны с рассеянием спин – поляризованных электронов на потенциале Ааронова – Бома, который порождается СВМ - генератором. Электроны в металле взаимодействуют с потенциалом Ааронова – Бома, при этом меняется плотность вероятности их распределения и квантовым образом меняется характер обменных сил. Изменяется также поверхностная энергия в расплаве, поверхностное натяжение, что может носить резонансный или синергетический характер, и далее – изменяются условия образования зародышей кристаллов..

- Всё вышесказанное, касательно обменных сил позволяет объяснить тот факт, что при обработке расплава чугуна генератором, в горне доменной печи, объемом 470 тонн, имея зону фокуса всего 150 мм, мы меняем свойства расплава во всем объеме, при этом перемешивания в горне доменной печи не было. Расплав чугуна является жидкостью с высокой проводимостью, и он имеет огромное количество свободных электронов в виде электронного газа. За счёт обменных процессов, происходящих в электронном газе, воздействуя на расплав в одном месте, мы можем менять свойства расплава во всем объеме.

- Литература.
- 1. Цвеллик А.М. Квантовая теории поля в физике конденсированного состояния.
- М.: Физматлит, 2002 г., перевод с английского.
- 2. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной.
- М.: Изд. МГУ, 1988 г.
- 3. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий.
- Часть 2. Теория физических взаимодействий. –
- М. Изд. МГУ, 1998 г.
- 4. Владимиров Ю.С. Физика дальнего действия. Природа пространства-времени.
- М. Изд. «Книжный Дом «Либроком», 2012 г.

Список публикаций и патентов

- Ключев А.В., Курапов С.А., Панов В.Ф., Стрелков В.В., Кокарева Н.А., Бояршинов А.Е. Структура и механические свойства металла после обработки расплава в нестационарном электромагнитном поле волнового излучателя // Металловедение и термическая обработка металлов. №7(649).2009. стр.3 – 9.
- Бояршинов А.Е., Ключев А.В., Кокарева Н.А., Курапов С.А., Панов В.Ф., Стрелков В.В. Способ обработки расплавленных материалов. Пат.2324575, Россия, МПК В22D27/02, Некоммерческое партнёрство «Неорганические материалы», (RU). Заявка: 2006140015/02, 13.11.2006; Опубликовано 20.05.2008. Бюл. №14.
- Бояршинов А.Е., Ключев А.В., Кокарева Н.А., Курапов С.А., Панов В.Ф., Стрелков В.В. Электромагнитная антенна. Пат.2336612, Россия, Некоммерческое партнёрство «Неорганические материалы», (RU). Заявка: 2006134358/09, 28.09.2006; Опубликовано 20.10.2008. Бюл. №29.
- Курапов С.А., Панов В.Ф. Полевое глубинное воздействие на расплавы металлов.// Труды международного междисциплинарного симпозиума «Фракталы и прикладная синергетика», ФиПС – 03(17 – 20 ноября 2003г., г.Москва.) – Москва: Издательство МГОУ, 2003. – Стр.146.
- Ключев А.В., Курапов С.А., Панов В.Ф., Стрелков В.В., Кокарева Н.А., Бояршинов А.Е. Полевое глубинное воздействие на расплавы металлов.// Deformation and Fracture of Materials and Nanomaterials – DFMN – 2007// Book of articles, ed. by O.A. Bannykh et al. – Moscow: Interkontakt Nauka, 2007. P.144.
- Панов В.Ф., Курапов С.А. Полевое глубинное воздействие на расплавы металла. // Космос, время, энергия. Сборник статей, посвящённых 100 – летию Д.Д. Иваненко - М.: «Белка», 2004. – Стр. 289 – 294.
- 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.

АВТОРЫ

- ФИО **Панов Вячеслав Федорович**
- Адрес электронной почты panov@psu.ru
- Ученая степень **Доктор физико-математических наук по теоретической физике**
- Образование **ПГУ, Механико-математический факультет**
- Ученое звание **профессор**
- Наименование организации **ПГНИУ, профессор кафедр: высшей математики, алгебры и геометрии, процессов управления и инф. безопасности, математического анализа, философии**
- Должность **преподаватель**
- Профессиональные достижения **член-корреспондент Российской академии естествознания, член президиума Российского гравитационного общества.**
- ФИО **Курапов Сергей Аркадьевич**
- Образование **ПГУ, Механико-математический факультет**
- Наименование организации **ООО «Сталь-59»**
- Должность **Ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией**
- Профессиональные достижения **Специалист в области технической физики**
- ФИО **Бояршинов Андрей Евгеньевич**
- Адрес электронной почты svm-perm@mail.ru
- Образование **ППИ, Электротехнический факультет, автоматика-телемеханика**
- Наименование организации **ООО «Сталь-59»**
- Должность **Зам. директора**
- Профессиональные достижения **Специалист в области радиоэлектроники.**
- ФИО **Клюев Андрей Валентинович**
- Адрес электронной почты svm-perm@mail.ru
- Образование **ППИ, Электротехнический факультет, автоматика-телемеханика**
- Наименование организации **ООО «Сталь-59»**
- Должность **Зам. Директора**
- Профессиональные достижения **Специалист в области радиоэлектроники**