

Результаты применения СВМ-технологии в металлургии чёрных и цветных металлов.

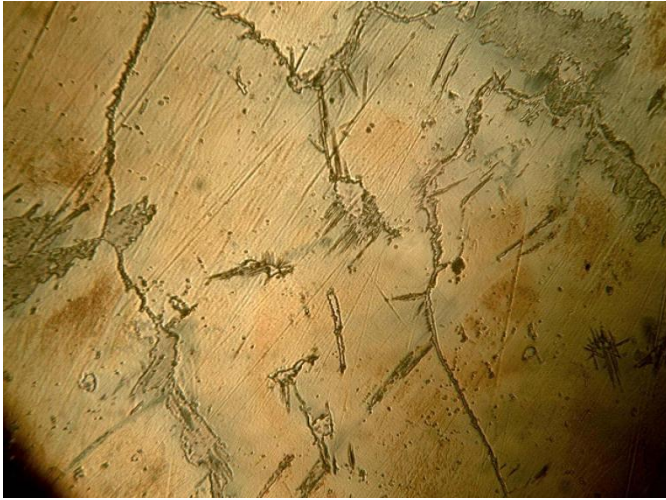
После анализа всех отчётов по внедрению СВМ-технологии на различных предприятиях металлургии можно сделать вывод, что данная технология позволяет достичь:

- Увеличения пластичности без изменения прочности сталей.
- Увеличения прочности и пластичности сталей одновременно.
- Увеличения ударной вязкости сталей.
- Улучшения качества чугуна (например, получать СЧ20 со свойствами СЧ35).
- Изменения структуры чугуна (измельчение графита)
- Улучшения качества передельного чугуна (увеличение пластичности, уменьшение крошья).
- Улучшения прокаливаемости, свариваемости, ковкости сталей.
- Увеличения износостойкости, коррозионной стойкости, хладостойкости, жаропрочности сталей и сплавов.
- Очистки сталей и сплавов от неметаллических включений.
- Уменьшения структурной полосчатости сталей после прокатки.
- Увеличения прочности и пластичности силуминов.
- Увеличения прочности деформируемых алюминиевых сплавов.
- Увеличения жидкотекучести алюминия, сталей, расплавов металлов.
- Очистки алюминиевых сплавов от неметаллических включений.
- Сокращения времени плавки для экономии электроэнергии.
- Исключения из технологического цикла операции гомогенизации (для экономии электроэнергии).

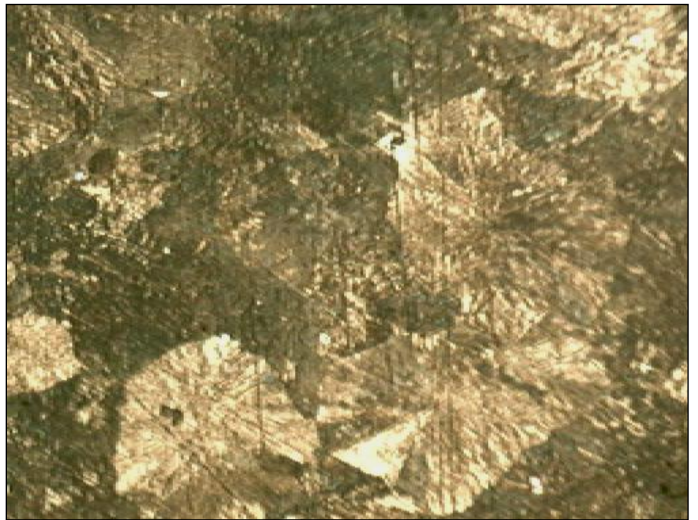
Металл (марка)	Средние (заводские) характеристики (без СВМ-обработки)	Результаты СВМ-обработки
110Г13Л	$\sigma_T = 465$ МПа $\sigma_B = 820-980$ МПа $\delta = 38\%$ $\Psi = 37\%$	Измельчение аустенитного зерна до 6,5 балла, подавление карбидных неоднородностей в сотни раз $\delta = 50\%$ $\Psi = 37\%$
35Л	- Механические свойства после нормализации 880-900° + Отпуск 550-650°: $\sigma_{0,2} > 280$ МПа $\sigma_B > 500$ МПа $\delta > 15\%$ $\Psi > 20\%$ $KCU > 35$ Дж/см ² - в металле наблюдаются микрораковины, микропоры	- Механические свойства после Н + О: $\sigma_{0,2}$ 350 МПа σ_B 600 МПа δ 16 % Ψ 25% KCU 42-54 Дж/см² - снижение газонасыщенности стали (повышение плотности отливки) - отсутствие в отливке микрораковин и микропор - измельченная структура с действительным зерном 7-8 балла
17Г1С	- Механические свойства: $\sigma_{0,2} > 275$ МПа $\sigma_B > 450$ МПа $\delta > 17\%$ $A_{-20^\circ} > 23$ Дж $KCU 140$ Дж/см ²	- Механические свойства: $\sigma_{0,2}$ 300 МПа σ_B 500 МПа δ 25% A_{-20° 50-60 Дж KCU = KCV = 189 Дж/см² Имеются стабильные результаты по ударной вязкости. - Валы сечением от 350 до 800 мм : мех. свойства и УЗК соответствуют требованиям заказчика - Снижен процент брака при обработке металла давлением - уменьшилась трещиноватость
40ХМА	- Механические свойства после отжига: $\sigma_{0,2} > 390$ МПа $\sigma_B > 590-740$ МПа $\delta > 16\%$ $A_{-20^\circ} > 38$ Дж	- Механические свойства: $\sigma_{0,2}$ 1215 МПа σ_B 1300 МПа $\sigma_{0,2} / \sigma_B = 0,93$ $\delta > 16\%$ $A_{-20^\circ} > 62$ Дж - Произведена замена улучшения на нормализацию - Получены мех. свойства более высоколегированной стали 34ХНЗМ
50ХН		Слитки 24,7 тонны - после первичной термообработки дефектов по УЗК не выявлено,
60ХН		Слитки валков 30,6; 50; 66 тонн отгружены заказчику по результатам УЗК после первичной
45		Валы сечением до 700 мм : по УЗК соответствуют требованиям заказчика; пластические х-ки и работа удара возросли на 8 - 16%; возможны сокращение режимов термообработки на 20% и отказ от применения модифицирования легирующей проволокой

Металл (марка)	Средние (заводские) характеристики (без СВМ-обработки)	Результаты СВМ-обработки
Чугун СЧ-20-25	- Крупные графитовые включения; присутствие в структуре цементита ледебурита - низкая пластичность	Измельчение структурных составляющих, графита; исключение образования цементита - повышение δ до 7-10 % при сохранении прочности, соответствующей марке чугуна - появление разгаростойкости. Резкое увеличение жидкотекучести, увеличение механических свойств серого ваграночного чугуна от СЧ 10 до СЧ 25 - Поршневые кольца: рост прочности составил 19,4%, прочность стержневой пробы соответствует СЧ35
9Х2МФ 9Х2МФ кованая 9Х2МФ с литой бочкой и коваными шейками	- Механические свойства после нормализации и отпуска: $\sigma_{0,2} > 390$ МПа; $\sigma_B > 620$ МПа $\delta > 12\%$ $KCU > 8$ Дж/см² $HB > 200$ - глубина активного слоя 15 мм - водород - 3-4 см³/100 г	- Механические свойства после нормализации и отпуска: $\sigma_{0,2} = 784$ МПа $\sigma_B = 1033$ МПа $\delta 12\%$ $KCU = 36$ Дж/см² $HB = 300$ - глубина активного слоя 19 мм (замер после закалки ТПЧ) - водород < 2 см³/100 г - Макроструктура не имеет рыхлот, трещин и флокенов; - прочность и ударная вязкость возросли соответственно на 12 и 36% - Прочностные характеристики и ударная вязкость возросли на 37%; прочность шеек высокая, выше 900 Н/м при нагреве под ковку рост зерна не наблюдается при заливке в кокиль получено мелкокристаллическое строение в поверхностном слое и далее зона равноосных кристаллов в шейках - отсутствие дефектов по УЗК
150ХНМЛ	- Механические свойства: $\sigma_B 500-800$ МПа; $KCU 4 - 8$ Дж/см²; $HB = 269-320$; - структура после Н 1060° + Н 900° + О 580°: перлит + избыточные карбиды. - карбиды пластины, овалы крупные	- Механические свойства: $\sigma_B 800-900$ МПа, $KCU > 8$ Дж/см², $HB = 269-320$; - отсутствие микропор, микрораковин. - литая сетка отсутствует после Н 900° + О 580 - 600 Размытие перлит-ферритной структуры
40ХЛ	$\sigma_T = 620-950$ МПа $\sigma_B = 790-1060$ МПа $\delta = 15,4\%$ $\Psi = 36,6\%$ $KCU 614$ Дж/см ²	$\sigma_T = 830$ МПа $\sigma_B = 900$ МПа $\delta = 16\%$ $\Psi = 52\%$ $KCU 870$ Дж/см

Металл (марка)	Средние (заводские) характеристики (без СВМ-обработки)	Результаты СВМ-обработки
25Х2М1Ф Дорны для проката труб	После проката 1400т труб -Сетка разгара -Трещины 5мм х 1.5м Все забракованы	После прокатки 3000т труб Сетки разгара нет Трещин нет Забракованы только по износу поверхности (диаметр стал меньше допустимого)
25Л	Среднее по заводу $\sigma_{0.2} = 298 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 537 \text{ МПа}$ $\delta = 28\%$ $\psi = 42\%$ КСУ -60 = 30 Дж/см ²	После обработки $\sigma_{0.2} = 304 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 540 \text{ МПа}$ $\delta = 33\%$ $\psi = 55\%$ КСУ -60=56 Дж/см ²
08ГДНФЛ	Среднее по заводу $\sigma_{0.2} = 411 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 574 \text{ МПа}$ $\delta = 28\%$ $\psi = 62\%$ КСУ -60 = 143 Дж/см ²	После обработки $\sigma_{0.2} = 449 \text{ МПа}$ $\sigma_B = 561 \text{ МПа}$ $\delta = 34\%$ $\psi = 70\%$ КСУ -60=168 Дж/см ²
AK12(АЛ2)	$\sigma_{0.2} = 157 \text{ Н/мм}^2$ $\sigma_B =$ $\delta = 3\%$ $\psi = 3\%$	$\sigma_{0.2} = 237 \text{ Н/мм}^2$ $\sigma_B = 288 \text{ Н/мм}^2$ $\delta = 3,14\%$ $\psi = 3,72\%$
АЛ4	$\sigma_{0.2} = 160 \text{ Н/мм}^2$ $\sigma_B = 290 \text{ Н/мм}^2$ $\delta = 3\%$ $\psi = 3\%$	$\sigma_{0.2} = 254 \text{ Н/мм}^2$ $\sigma_B = 298 \text{ Н/мм}^2$ $\delta = 1,5\%$ $\psi = 2,3\%$ Проведено несколько экспериментов
Д16Т	$\sigma_B = 8,1 \text{ кг/мм}^2$ Измерения проводились на литых пробах	$\sigma_B = 12,9 \text{ кг/мм}^2$ Измерения проводились на литых пробах
ЖС6У	Испытания на длительную прочность При 25 кгс/мм ² , 975°С Среднее время выдержки 49,6 ч	Испытания на длительную прочность При 25 кгс/мм ² , 975°С Среднее время выдержки 82,6 ч
02Х22Н5АМЗ (SAF 2205)	Испытание на стойкость к <u>питтинговой</u> коррозии Средняя скорость коррозии 10,69 мм/год	Средняя скорость коррозии 3,95 мм/год



- **Микроструктура стали 110Г13Л (сталь Гатфильда) аустенитного класса до обработки и после.**



Сталь 35ХГСЛ (x100)

а) - контрольный образец

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

б) - после волновой обработки; зерна феррита и перлита

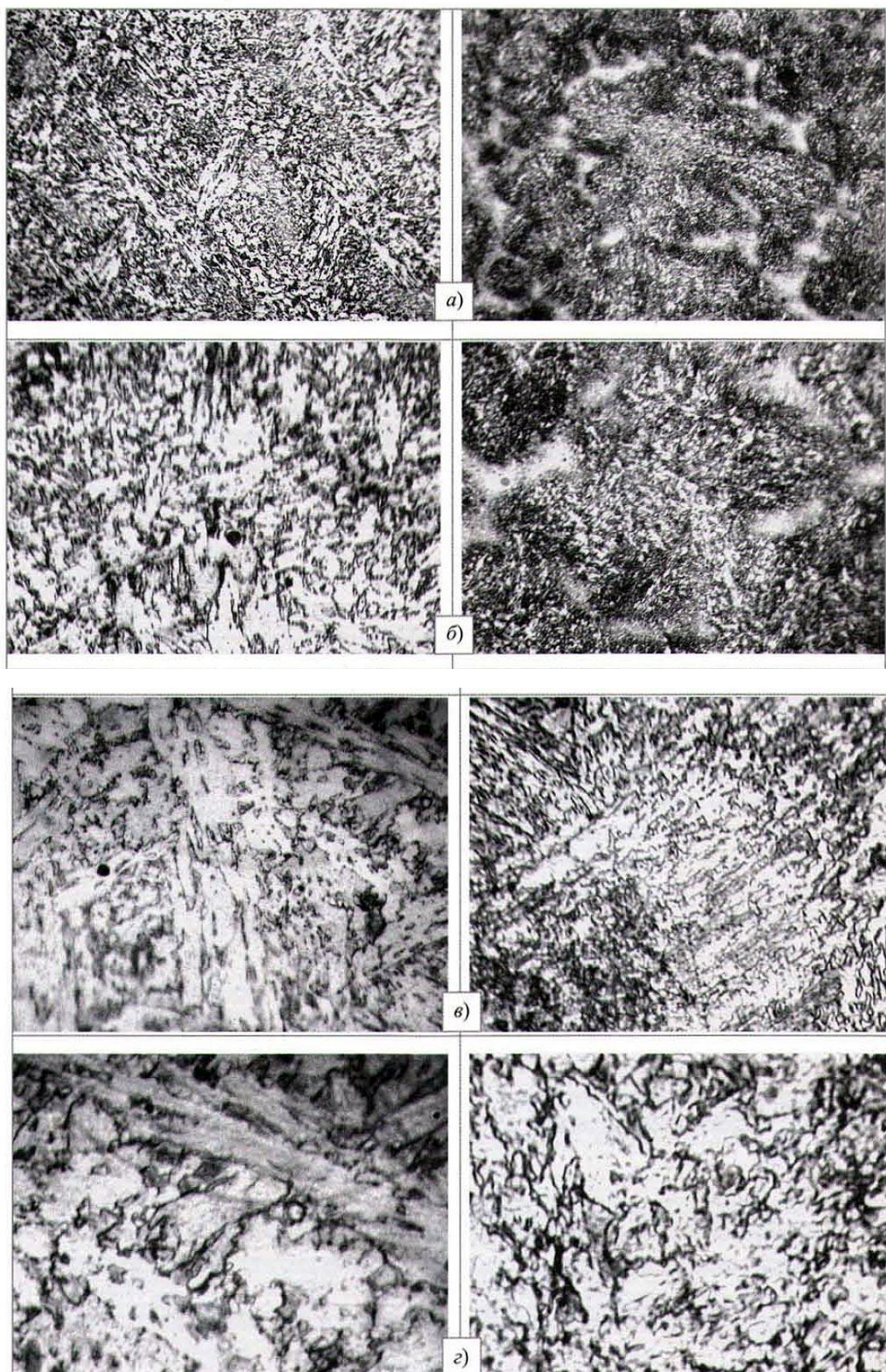
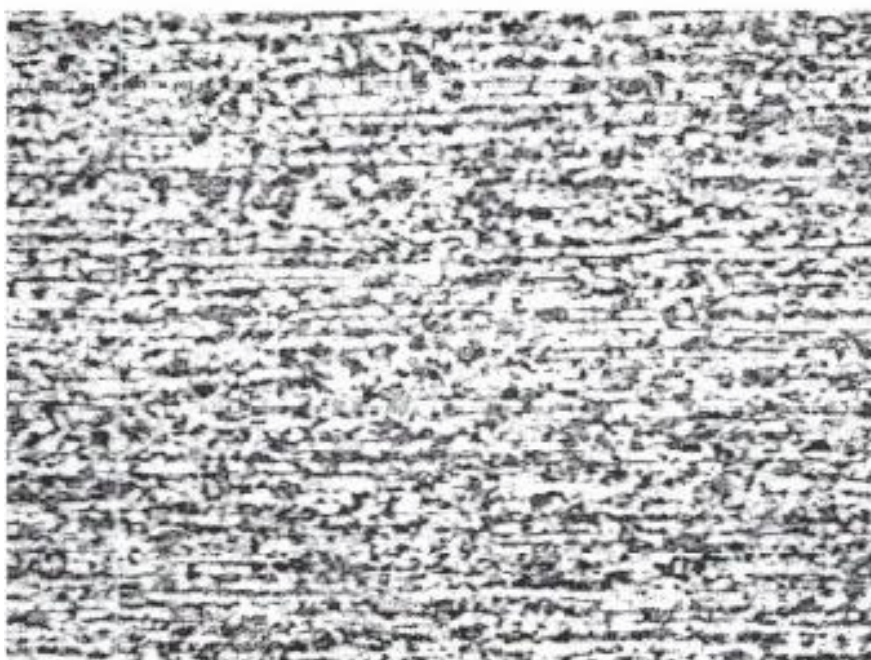
*I**II*

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

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



Образец с ОРП (бейнит) x125

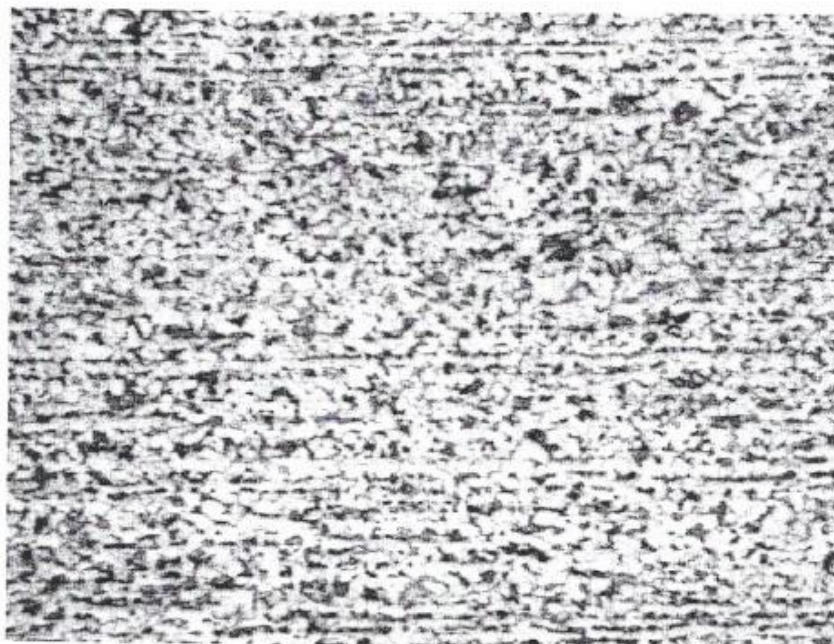


Образец без ОРП (феррито-перлит) x125

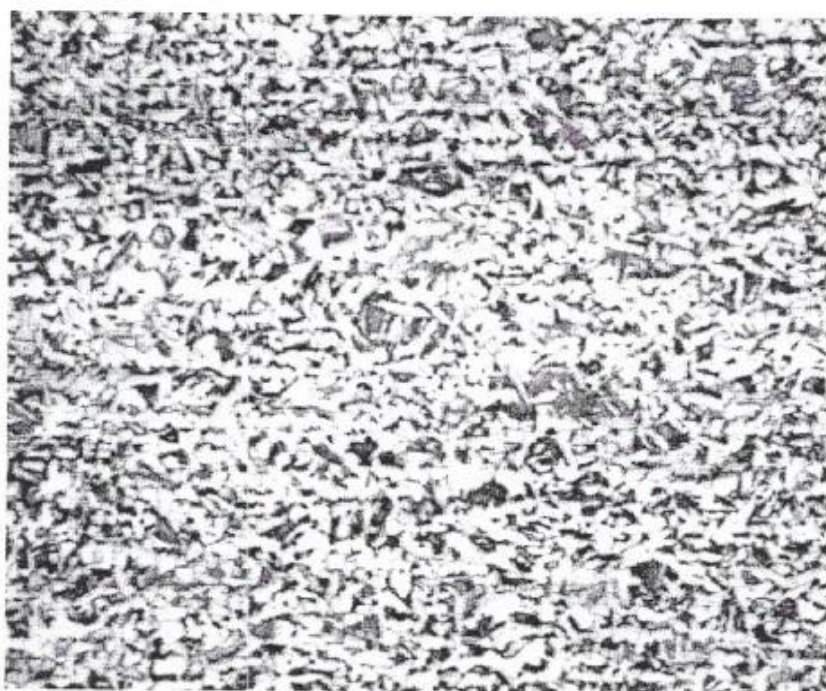
Микроструктура стали 20XГНМ после прокатки

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

Вверху после СВМ-обработки (бейнит, отсутствие полосчатости)



Образец без ОРП x100



Образец с ОРП x100

- **Микроструктура стали 20 после прокатки без обработки и с обработкой.**

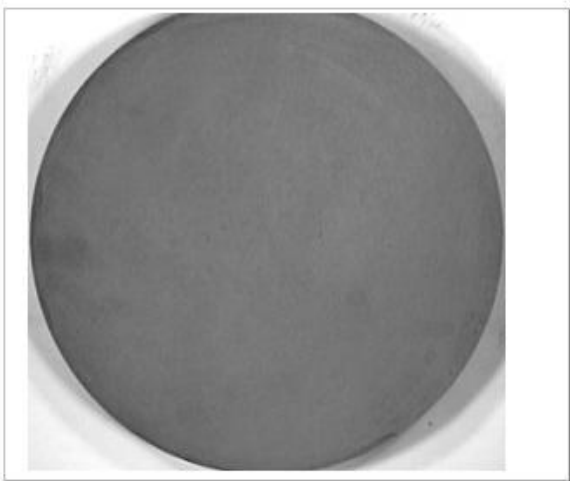


Рис.1. Макроструктура металла образца №4-221. 1:3

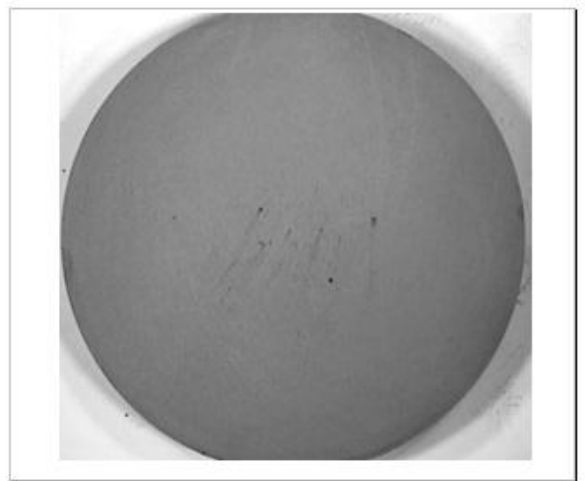


Рис.2. Макроструктура металла образца №4-144. 1:3

Макроструктура стали 6XB2C

Обработанная

Не обработанная

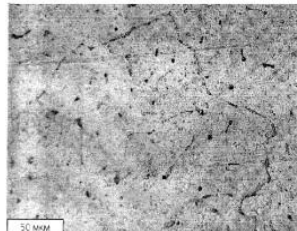
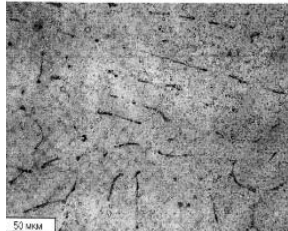
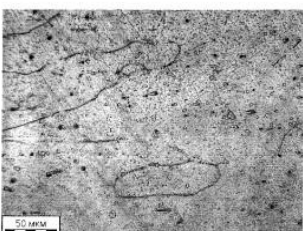
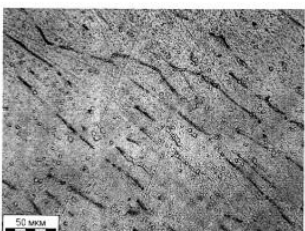
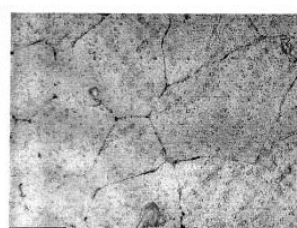
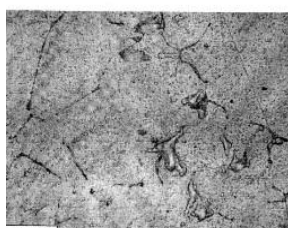
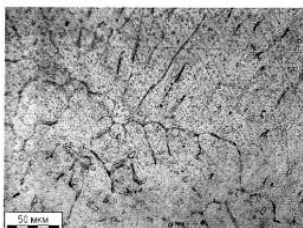
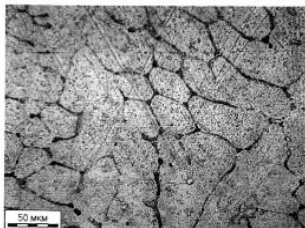
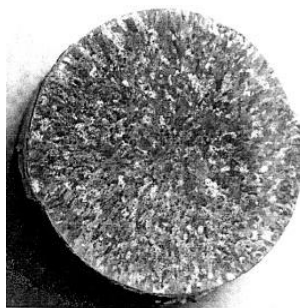
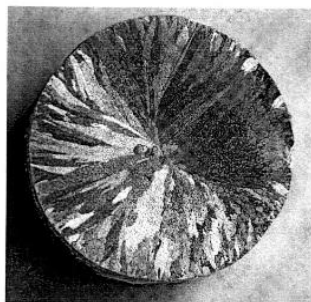


Рис.19. Макро- (а) и микроструктура (б-д) образца 1.4.

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

Макро и микроструктура алюминия А7 без СВМ-обработки и с СВМ-обработкой

Компания, в т.ч. структурное предприятие	Годы работ	Основные достигнутые результаты (кратко)	Экономика
ООО «Точлит», ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь	2004-2007	Замена стали 10ХНЗМДЛ (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 10ХНЗМДЛ Увеличение Ксипри -70 С до >120 стали 09Г2С (при норме 29)	Замена стали 10ХНЗМДЛ (86 т. р./т) на сталь 35ХГСЛ, обработанную СВМ, (12 т. р./т.) По стали 10ХНЗМДЛ (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 прокатки 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 лития стали 45 легирующих редкоземельных элементов – экономия до 18000 руб с тонны металла. На 2007 г. выпускалось 12 000 т стали 45. Общий эффект составляет 216 000 000 рублей
ОАО «Тулачермет», г. Тула	2008	Уменьшение крошья при перевозке чушек до 20-30%	Тулачермет в 2008г производило в день 8000 тонн чугуна. Без СВМ-обработки в крошье уходило 428 тонн, с СВМ-обработкой 346 тонн. Экономия 82 тонны чугуна в день. При цене передельного чугуна 10000р/т (2008г) экономия составляет 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 статей СД-2 (25Х2М1Ф) 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.
ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь	2005	Увеличение долговечности лопаток из сплава ЖС6У на 82%	Увеличение моторесурса двигателя ориентировочно на 50%
ООО «НовосибНИАТ», г. Новосибирск	2009	Увеличение $\sigma_{разлом}$ сплава Д16М с 8 до 13 кг/мм (даже в литом состоянии, без деформации и старения)	Возможная экономия веса конструкций в 1.5–2 раза.
ЦНИИТМАш, г. Москва	2008	1. Уменьшение неметаллических включений в стали 02Х22Н5АМЗ 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 (02Х22Н5АМЗ)