

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74.042

Дуб А.В., Рябков В.М., Мирзоян Г.С., Бахметьев В.В., Цыбров С.В., Авдиенко А.В.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОТОННАЖНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ

В условиях нарастающей жесткой конкуренции в сфере металлургического производства все большее внимание уделяется качеству проката и экономичности его производства.

В этой связи перед металлургической отраслью остро встает вопрос по оптимальному использованию основного инструмента металлургических станков – прокатных валков.

Интенсификация производственных процессов на современных прокатных станах, вызванная ростом доли тонкого проката, а также проката из специальных и легированных сталей и усложнением их сортамента, привела к значительному увеличению скоростных параметров прокатки, динамических и термических нагрузок на валки, появлению высокого уровня напряжений изгиба и кручения.

В связи с этим в значительной степени возрастают требования к служебным свойствам рабочих валков прокатных станков.

В зависимости от эксплуатационных особенностей различных клетей прокатных станков ужесточаются требования в сторону повышения твердости металла рабочего слоя, его термоциклической и коррозионной стойкости, устойчивости к сколам и выкрашиванию, однородности структуры по сечению, а также прочностных характеристик металла сердцевин и шеек валка.

Наличие дифференцированных свойств по сечению бочки прокатных валков, в соответствии с предъявляемыми требованиями, предполагает в качестве оптимального решения использование, как минимум, двух различных по химическому составу материалов, заливаемых последовательно в форму, т.е. создания композитной конструкции валка.

Любое другое техническое решение, основанное на применении одного материала, является компромиссным и уступает по уровню служебных свойств композитной конструкции валков.

Традиционный способ изготовления литых прокатных валков в стационарные формы с заливкой легированного чугуна в изложницу и с последующим вытеснением незатвердевшего остатка новой порцией металла сердцевин после кристаллизации поверхностного (рабочего) слоя [1] не в состоянии удовлетворить современные требования, предъявляемые к прокатным валкам из-за присущих недостатков:

- отсутствие возможности регулирования тол-

- щины рабочего слоя;

- невозможность использования перспективных высоколегированных материалов для рабочего слоя валков;
- высокий спад твердости по сечению рабочего слоя валка;
- наличие значительного количества дефектов из-за нарушения принципа направленного за- твердевания с использованием сифонного способа заливки металла;
- высокий расход легирующих элементов;
- низкий выход годного;
- высокая трудоемкость процесса получения валков;
- экологически «грязное» производство.

Наиболее эффективным техническим решением изготовления литых прокатных валков с дифференцированными по сечению свойствами является метод центробежного литья, о чем свидетельствует опыт производства двухслойных прокатных валков методом центробежного литья в ЗАО «МРК» ОАО «ММК», где начиная с 2005 г. изготавливаются листопркатные валки диаметром бочки 600–1100 мм, длиной до 3000 мм и массой заготовки до 25 т, а с 2006 г. сортопркатные валки с диаметром бочки 200–600 мм, длиной до 2500 мм и массой до 5 т.

Так, благодаря преимуществам центробежного литья в ЗАО «МРК» ОАО «ММК» стало возможным применение высоколегированных чугунов для рабочего слоя листопркатных валков с содержанием Cr=16–18% для первых чистовых клетей станков «2000» и «2500», чего нельзя было добиться способом стационарного литья. Благодаря вводу во вращающуюся форму промежуточного слоя металла из нелегированного чугуна между разнородными по составу чугунами, а также работанными температурно-временными факторами удалось обеспечить содержание хрома в сердцевине и шейках валка до безопасного уровня ($Cr \ll 0,4\%$) и среднее содержание цементита ~ 3,5%, а также уровень требуемых механических свойств.

Таким образом, с учетом последующей заливки металла сердцевин и шеек валка из чугуна с шаровидным графитом применение метода центробежного литья при отливке рабочего слоя из высокохромистого чугуна позволяет обеспечить трехслойное композитное изделие.

Для последних чистовых клетей листопркатных станов разработана технология центробежного литья валков из «индефинитного» хромоникелевого легированного чугуна с содержанием Ni=4,0–5,0%, отличающегося равномерной твердостью по глубине рабочего слоя валков, что способствует повышению их эксплуатационной стойкости.

Значительной вехой в развитии отечественного литейного машиностроения явилась организация производства в ЗАО «МРК» ОАО «ММК» сортопркатных валков методом центробежного литья.

Базовой основой участка по производству сортопркатных валков диаметром бочки 250–600 мм явилась центробежная машина с горизонтальной осью вращения, изготовленная в производственных условиях ЗАО «МРК» ОАО «ММК» по проекту ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» (рис. 1).

Освоение этой новой в отечественной практике технологии производства сортопркатных валков [2] позволило решить сложную задачу по реконструкции сортопркатного производства ОАО «ММК», связанную с обеспечением валками отечественного производства (взамен устаревших станов), всей потребности введенных в эксплуатацию в период 2005–2006 гг. современных станов «170», «370» и «450» фирмы «Даниэли» (Италия).

Благодаря совместным усилиям специалистов ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» и ЗАО «МРК» ОАО «ММК» в короткие сроки были завершены работы по проектированию, строительству и запуску в работу участка производства сортопркатных центробежно-литых валков в 2006 г.

В состав участка входит также комплекс современного термического и механообрабатывающего оборудования известных европейских фирм “Herkuless” (Германия), “Atomat” (Италия) и др.

В технологическом плане решены следующие задачи:

- создание условий для направленного затвердевания рабочего слоя валков во вращающейся форме;
- минимизация спада твердости по сечению рабочего слоя валков;
- оптимизация температурно-временных пара-

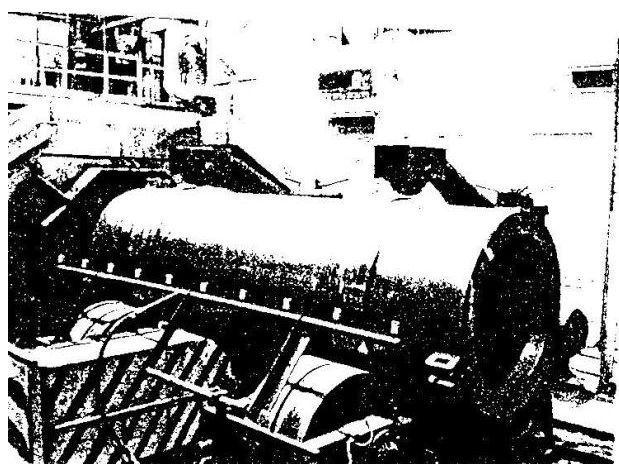


Рис. 1. Центробежная машина для отливки сортопркатных валков диаметром бочки 250–600 мм

метров заливки в форму двух разнородных металлов;

- выбор режима вращения формы;
- создание оптимальной конструкции формы;
- разработка отечественных материалов (теплоизоляционной антипригарной краски и защитного флюса) взамен импортных.

При разработке технологических параметров направленного затвердевания рабочего слоя валков во вращающейся форме исходили из особенностей конструкции сортопркатных валков, которые в отличие от листопркатных обладают значительной протяженностью по сечению рабочего слоя (до 180 мм), т.е. в 2,0–3,0 раза выше по сравнению с листопркатными, что вызывает сложности при формировании отливок во вращающейся форме.

Прежде всего это касается появлений резко выраженных усадочных и ликвационных явлений, характерных для толстостенного литья.

Наряду с этим возникают трудности для достижения минимального спада твердости по сечению рабочего слоя валка с высокой протяженностью.

Для предотвращения появления усадочных и ликвационных дефектов в сечении рабочего слоя валка необходимо создание условий для направленного затвердевания отливки от наружной поверхности к внутренней и подавления развития второго фронта кристаллизации на внутренней поверхности отливки.

В этой связи предприняты меры по увеличению интенсивности охлаждения с внешней поверхности рабочего слоя и снижению до минимума теплоотода с внутренней поверхности отливки.

Реализация подобных условий на практике оказалась эффективной при использовании на внутренней поверхности изложницы теплоизоляционного антипригарного покрытия в виде цирконового краску, а на свободной поверхности жидкого металла рабочего слоя флюса с относительно невысокой теплопроводностью [3].

С учетом требований к покрытию по прочности и термостойкости выбор состава используемой краски основан на преобладающем содержании в качестве наполнителя циркона, а в качестве связующего бентонита.

Достоинством покрытия является возможность транспортировки порошкообразного материала без растворителя в составе краски, с последующим разведением водой до необходимой вязкости у потребителя.

В состав краски добавляется раствор поверхностно-активного вещества. Готовое покрытие представляет собой суспензию кремового цвета, обладающую следующими физико-техническими свойствами (см. таблицу).

Готовая краска наносится путем распыления на внутреннюю поверхность изложницы, подогретой до 180–200°C, при ее вращении с помощью специального покрасочного устройства.

Температура поверхности изложницы определялась с помощью прецизионного термометра TFN 1293 EX с точностью измерения ±1,5°C. Контроль толщины слоя краски в пределах 1,4–1,8 мм на внутренней поверхности изложницы осуществляется толщиномером Elkometer 456 с точностью измерения ±3%.

Состав флюса определяли исходя из необходимости обеспечения его защитных от охлаждающего влияния внешней среды и рафинирующих функций при взаимодействии с металлом рабочего слоя.

Этим условиям удовлетворяет флюс, изготовленный на основе системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ с добавлением буры и фтористого кальция [4].

Исследование вязкости указанного флюса в зависимости от изменения температуры показало, что в пределах температур $800\text{--}850^\circ\text{C}$ происходит его переход из вязкого состояния в жидкотекучее.

Введение окислов $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ в состав флюса позволяет несколько повысить жидкотекучесть и гарантировать вытекание части флюса (примерно одну треть от введенного в форму количества) с ассимилированными вредными примесями и неметаллическими включениями при кантовке изложницы в вертикальное положение.

Оставшаяся на поверхности рабочего слоя пленка очищенного флюса всплывает в прибыльную зону отливки при заливке второго металла.

Флюс наносится на зеркало металла рабочего слоя валька сразу после окончания заливки металла рабочего слоя во вращающуюся изложницу центробежной машины и его расход в зависимости от площади внутренней поверхности отливки составляет $2,3\text{--}2,5$ на 1 м^2 .

При определении частоты вращения формы исходили из особенностей ввода во вращающуюся изложницу больших масс металла, формирующих рабочий слой валька.

С увеличением толщины слоя жидкого металла рабочего слоя прокатных валков наряду с увеличением продолжительности их затвердевания усиливаются ликвационные явления, а также неоднородность структуры по сечению отливки.

При повышенной частоте вращения формы в отливках возникают трещины, увеличивается пригар на поверхности заготовок.

При заниженной частоте вращения формы в отливках появляется «полосчатость», связанная с химической и физической неоднородностью металла.

В настоящей работе при выборе частоты вращения формы исходили из необходимости обеспечения минимальной продолжительности выравнивания угловых скоростей рабочего слоя и формы во избежание появления «полосчатости» и грубозернистой структуры. Это условие обеспечивалось для сортопрокатных валков при гравитационном коэффициенте, равном $110\text{--}130$, на внутренней поверхности отливки. В соответствии со средним значением гравитационного коэффициента, равном 120 , частота вращения (об/мин) определялась по формуле

$$n = \frac{330}{\sqrt{r}}, \quad (1)$$

где r – внутренний радиус отливки, м.

Использование формулы (1) при литье рабочего слоя валков позволило получать однородную по сечению структуру.

Физико-технические свойства покрытия

Наименование показателя	Норма
1. Внешний вид (в виде порошка)	Однородный порошок без посторонних, видимых невооруженным глазом примесей
2. Влажность порошка, не более, %	1,5
3. Условная вязкость разведенного водой покрытия по вискозиметру ВЗ-4, не более, с	12,0
4. Седиментационная устойчивость готовой суспензии, не менее, %	80,0
5. Прочность слоя покрытия к истиранию, кг/мм	0,7–1,0
6. Внешний вид нанесенного покрытия	Равномерный прочный слой материала без посторонних включений

При оптимизации температурно-временных параметров заливки двух разнородных металлов, обуславливающих их прочное сваривание, учитывали граничные условия соприкосновения двух разнородных металлов.

Внутренняя поверхность рабочего слоя после его затвердевания во вращающейся форме протяженностью (ψ), как правило, поражена усадочной пористостью и ликвационными включениями.

Образование этой дефектной зоны происходит в последней стадии затвердевания отливки при достижении температурной границы ликвидус ($t_{\text{лик}}$) свободной поверхности отливки вследствие прекращения компенсации усадки твердо-жидкой зоны при температуре $t_{\text{ж-тв}}$ жидкой фазой.

Относительная ширина этой зоны составляет

$$\frac{\psi}{X_1} = \sqrt[2]{1 - \frac{t_{\text{ж-тв}}}{t_{\text{лик}}}} \cdot K, \quad (2)$$

где $\mu = \varphi(\text{Bi})$; X_1 – толщина стенки отливки; K – поправочный коэффициент ($P=0,5\text{--}0,7$), учитывающий величину центробежной силы.

Из формулы (2) следует, что ширина дефектной зоны (ψ) зависит от физических особенностей сплава ($t_{\text{ж-тв}}$ и $t_{\text{лик}}$), т.е. интервала жидко-твердой фазы, интенсивности охлаждения (Bi) и величины центробежной силы при затвердевании отливки (K).

В зависимости от материала и условий затвердевания отливки ширина дефектной зоны у внутренней поверхности валька составляет $8\text{--}12\%$ от толщины стенки отливки.

Удаление дефектной зоны производилось путем ее расплавления в процессе заливки металла сердцевин валька.

Время начала заливки металла сердцевин валька определяли по температурной кривой затвердевания рабочего слоя. При контактной температуре на внут-

ренной поверхности рабочего слоя, соответствующей значению $t_{\text{сол}} (-30\text{--}+40)^\circ\text{C}$, производится заливка второго металла. При этом временном параметре, как показали исследования, прогноз свариваемости двух разнородных металлов рабочего слоя из индифинитного чугуна и сердцевин из чугуна с шаровидным графитом обеспечивается при следующих режимах заливки:

- температура заливки рабочего слоя из индифинитного чугуна – $t_{\text{лик}}+(100\text{--}120)^\circ\text{C}$;
- температура заливки сердцевин – $t_{\text{лик}}+(100\text{--}110)^\circ\text{C}$;
- контактная температура рабочего слоя – $t_{\text{сол}}-(30\text{--}40)^\circ\text{C}$;
- скорость заливки рабочего слоя – 50–55 кг/с;
- скорость заливки металла сердцевин – 100–105 кг/с.

В отличие от технологии изготовления листопрокатных валков, временной интервал заливки между двумя разнородными металлами у сортопрокатных валков значительно меньше.

Это обстоятельство существенно изменяет процесс подготовки и сборки изложницы для заливки двух разнородных металлов.

Если перед заливкой второго слоя металла листопрокатных валков сборка формы предусматривает последовательность крановых операций при установке изложницы на опоку для заливки нижней шейки валка, затем установку на изложницу опоки для заливки верхней шейки валка, а затем опоки для заливки прибыли, то для минимизации интервала между заливками двух металлов форма сортопрокатного валка включает все элементы конструкции заготовки валка – две шейки, сердцевину и прибыльную зону [6].

Учитывая широкую номенклатуру сортопрокатных валков, такая форма становится универсальной за счет использования вставок для оформления рабочего слоя валков.

Совершенствованная конструкция литейной формы для заливки сортопрокатных валков позволяет на 30–40% сократить интервал времени между окончанием затвердевания рабочего слоя и заливкой металла сердцевин и этим самым обеспечить, наряду с выбранными температурно-временными параметрами, прочное сваривание двух разнородных металлов.

Устройство отличается универсальностью и может за счет регулирования толщины стенки вставок охватить наиболее распространенные в эксплуатации размеры валков.

Валки, имеющие различную геометрию и полученные с помощью предлагаемого устройства, отвечают всем техническим требованиям, которые предъявляются к их качеству.

Оценка качества металла рабочего слоя производилась с помощью металлографических исследований на образцах из кольцевой пробы с применением микроскопа “AXIOVERT 40” с использованием промышленной системы анализа изображений “SIAMS 700”.

Оценка структурно-напряженного состояния валков на всех стадиях производства (литье, термообработка, механообработка) и эксплуатации производится с помощью структуроскопа КРМ-Ц-К2М, оснащенного карманным персональным компьютером (КПК) и программой. Связь прибора и КПК осуществляется по беспроводному каналу связи “Blue Tooth”.

Степень распада аустенита в валках контролируется с помощью дефектоскопа “FERITSCOPE^R MR30”, а для определения структурных фаз используется дифрактометр «ЭДВАНС-Д8».

Для оценки твердости металла используют как стационарные твердомеры, так и переносные “EQUOTIP-2”, «Элит». Качество валка оценивается как на пробах, так и непосредственно на валках.

Оценка свариваемости двух разнородных слоев металла с помощью ультразвукового дефектоскопа УД9812 подтвердила положительный результат при проверке промышленных партий различных типоразмеров сортопрокатных валков.

При этом спад твердости по глубине рабочего слоя центробежно-литых сортопрокатных валков, который определяли по формуле

$$C_T = \frac{H_{\text{П}} - H_{\text{Д}}}{H_{\text{Д}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где C_T – спад твердости, %; $H_{\text{П}}$ – твердость на глубине 5 мм от поверхности бочки валка; $H_{\text{Д}}$ – твердость на глубине вреза ручьев, составляет 1–3%, т.е. по сравнению со стационарно-литыми сортопрокатными валками, у которых на аналогичных типоразмерах величина спада составляет $C_T=10\text{--}15\%$, уменьшается в 5–10 раз.

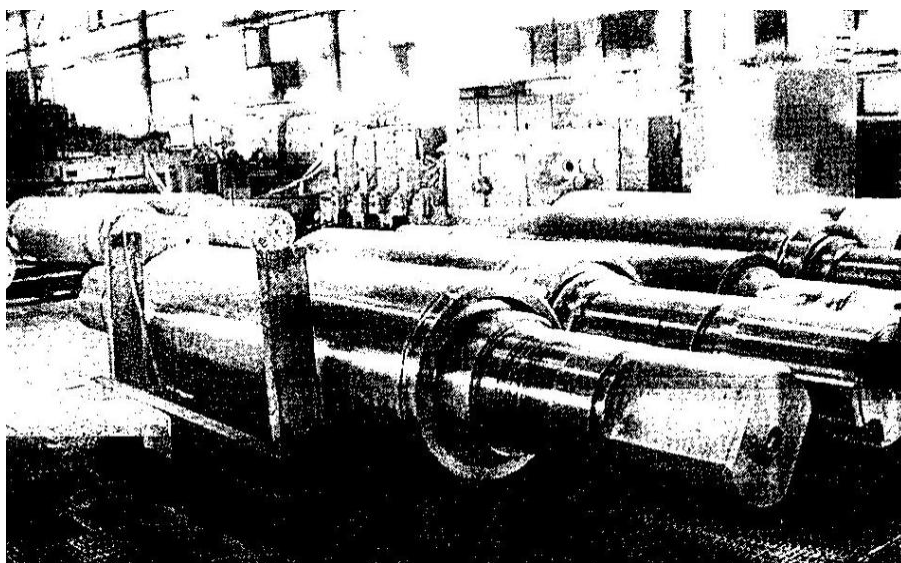


Рис. 2. Двухслойные листопрокатные валки, полученные по разработанной технологии

К настоящему времени на станы «2000» и «2500» ОАО «ММК» поставлено около 2000 листопрокатных валков (рис. 2), полученных методом центробежного литья, и более 1000 сортопрокатных валков (рис. 3) для сортопрокатных станков «170», «370» и «450», полностью обеспечив их отечественными валками.

Эксплуатационная стойкость листопрокатных валков, полученных по новой технологии, в 2,0–3,0 раза выше стойкости стационарно-литых валков и на 10–15% выше стойкости валков зарубежного производства, что позволило комбинату полностью отказаться от импортных валков таких известных производителей, как «Гонтерман Пайперс» (Германия), «Акерс» (Франция), и заменить их отечественными.

Эксплуатационная стойкость центробежно-литых сортопрокатных валков возросла на 3,0–3,5 раза по сравнению со стационарно-литыми валками.

Композитные валки, полученные методом центробежного литья, пользуются успехом и на ряде отечественных металлургических комбинатов, таких как ОАО «НЛМК», «Северсталь», Омутнинском, Азов-

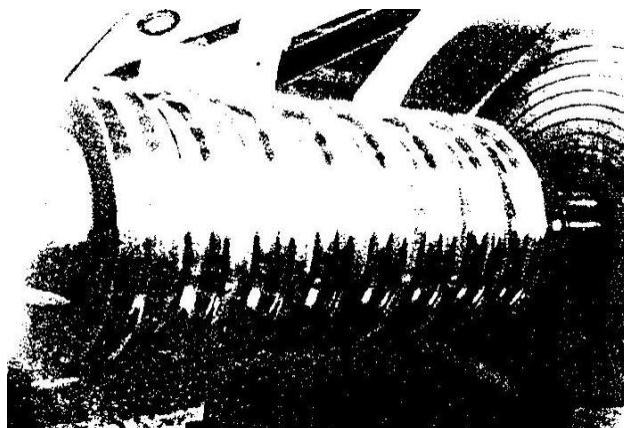


Рис. 3. Сортопрокатный валок $\varnothing 500 \times 2000$ мм, полученный методом центробежного литья

сталь, Чусовском и ряда других, что свидетельствует о высокой конкурентоспособности этой продукции.

Список литературы

1. Кривошеев А.Е. Литье валки. М.: Металлургиздат, 1957. 360 с.
2. Заявка 2007114631/02 от 18.04.2007.
3. Заявка 2007139267 от 24.10.2007.
4. Заявка 2007146603 от 18.12.2007.
5. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. М., 1960. С. 482–531.
6. Заявка 2007124353/02 от 29.07.2007 г.

List of literature

1. Krivosheev A.E. Casting rollers. M.: Metallurgizdat, 1957. P. 360.
2. Request 2007114631/02 dated 18.04.2007.
3. Request 2007139267 dated 24.10.2007.
4. Request 2007146603 dated 18.12.2007.
5. Kumin I.B. The theoretical questions of the casting processes. M., 1960. P. 482–531.
6. Request 2007124353/02 dated 29.07.2007.

УДК 621.74:669.13

Андреев В.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ ЧУГУНОВ С ВЕРМИКУЛЯРНЫМ ГРАФИТОМ ОТЛИВОК С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Чугун со своеобразной, так называемой «вермикулярной», формой графита (рис. 1) относится к классу высокопрочных. Этот чугун обладает рядом специфических свойств, которые выдвигают его в число перспективных конструкционных материалов для отливок самого различного назначения.

По своим литейным и физико-механическим свойствам чугун с вермикулярным графитом может быть успешно использован взамен серого чугуна с пластинчатым графитом для ряда ответственных деталей общего машиностроения, к материалу которых по условиям их работы предъявляются повышенные требования по прочностным и пластическим характеристикам. Свойственное же этому чугуну сочетание высоких показателей механических свойств и повышенной теплопроводности делает особенно перспективным его применение для деталей, работающих в условиях больших механических нагрузок и значительного перепада температур, а именно:

– в дизелестроении для деталей цилиндропоршневой группы мощных (600–1500 л.с.) форсированных

дизельных двигателей (блоки и крышки цилиндров, цилиндрические втулки и корпуса турбокомпрессоров), надежно работающих при высоких механических и термодинамических нагрузках, а также позволяющих увеличить минимум в 1,5 раза мощность двигателей при тех же конструктивных параметрах;

– в производстве крупногабаритных отливок кокильной и металлургической оснастки с повышенной эксплуатационной стойкостью.

Отечественным стандартом (ГОСТ 28394-89) предусмотрены четыре марки чугуна с вермикулярным графитом (табл. 1) с ферритной ЧВГ30 и ЧВГ35, ферритно-перлитной ЧВГ40 и перлитной ЧВГ45 металлической основой.

При получении чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ) обычно используют следующие четыре варианта обработки исходного расплава [1]:

- обработка магнием с введением его меньше, чем необходимо для полной сфероидизации графита;
- обработка одновременно магнием и десферодирующим элементом (обычно титаном);