



There is shown, that influences of silicon-free complex foundry allow o the processes of crystallization of carbon steel 35L have essentially changed the mechanical and foundry properties of steel, that allows to offer the replacement of steel allows by carbon steels without reduction of durability of the produced from them details.

В. М. ГАЦУРО, РУП завод «МОГИЛЕВЛИФТМАШ», Л. В. ШВЕЦОВ, УРП «МоАЗ»

УДК 621.74

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В СТАЛИ 35Л ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НА СТАДИИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Развитие современного машиностроения в Беларуси сопровождается усложнением конструкции машины, повышением требований к их надежности и долговечности при эксплуатации машин в условиях низких климатических температур.

Особенности применения литья в карьерных самосвалах и машинах большой мощности определяются большими размерами и массой отливок, а также необходимостью получения этих отливок в литейных производствах Беларуси. Принятые нормы конструкционной прочности для литых деталей, получаемых по обычным технологиям (литье в песчаные формы), существенно ниже, чем для поковок и проката. Вместе с тем к отливкам предъявляются высокие требования по надежности. Одним из основных факторов в получении качественных стальных отливок являются механические свойства.

Для достижения в литье свойств проката необходимо, чтобы литой металл обладал высокой плотностью (отсутствие пористости, трещин); устранением ликвации неметаллических примесей; равнопрочностью и изотропностью механических свойств; мелкозернистостью.

Обеспечение качества литых заготовок возможно достичь за счет формирования оптимальной структуры на стадии кристаллизации. Как свидетельствует практика получения крупных отливок, в последних нередко формируется крупнозернистая структура, размеры первичных зерен в которой достигают 5–7 мм. Возникающее крупное зерно часто не устраняется нормализацией и отпуском, которые используются для термообработки отливок. Причина отмеченного явления, судя по всему, скрыта в формировании крупнозернистости на стадии первичной кристаллизации металла из жидкости и последующей грануляции. Отсутствие или неравномерное распределение по объему и границам зерен элементов, препятствующих росту размера зерна, приводит к крупнозернистости отливок, что незамедлительно отражается на снижении сопротивления усталости и хрупкости литых деталей и конструкций.

Известно, что одним из способов получения отливок с определенными структурой и свойствами является регулирование и управление процессом затвердевания металла методом воздействия на процесс зональной ликвации путем введения модифицирующих добавок в расплав [1] и снижения температуры разливаемого металла. При низкой температуре разлива и медленном охлаждении (например, в средних слоях крупных отливок) создаются условия для возникновения зародышей кристаллов в средней части отливки. Это приводит к образованию во внутренней части отливки структурной зоны, состоящей из равноосных различно ориентированных дендритов. Их размеры зависят от степени перегрева жидкого металла, скорости охлаждения, химического состава, наличия примесей и др. При модифицировании в расплавленный металл вводят небольшое количество модификаторов, которые, практически не изменяя его химического состава, вызывают при кристаллизации измельчение зерна и улучшение механических свойств [2].

Реализацию технологий, отвечающих поставленным требованиям, проводили в сталелитейном цехе УРП «Могилевский автомобильный завод им. С.М.Кирова», учитывая его многолетний опыт в изготовлении крупногабаритных стальных отливок, где основная номенклатура литья изготавливается из стали 35Л. Это объясняется благоприятным сочетанием достаточно высоких механических свойств и устойчивости против образования холодных трещин при сварке. Было принято решение провести опытно-экспериментальные работы по воздействию на химическую однородность стали бескремниевой комплексной лигатурой (БКЛ), основу которой составляют алюминий, кальций и РЗМ. Для исследования применяли БКЛ марки АКЦе, содержащую 5–25% алюминия, 5–15% кальция и 10–30% РЗМ.

В технологическом бюро СЛЦ был произведен расчет и определено изменение норм расхода основных раскислителей по двум вариантам при использовании вместо них БКЛ (табл. 1).

Таблица 1. Нормы расхода материалов на 1 т годного литья

Вариант	Материал				
	силикокальций Ск-10, кг	ферросиликомарганец MnC-17A, кг	алюминий вторичный AK5M2, кг	БКЛ, кг	
I	Было	0,2	5	4,8	—
	Расчетный	—	—	—	2
II	Было	0,2	5	4,8	—
	Расчетный	—	—	2,4	2

Плавку стали проводили в электродуговой печи ДСП-6Н2 с кислой футеровкой в соответствии с технологическим процессом с разницей лишь в количестве и способе ввода раскислителя. В первом варианте модифицирование БКЛ производили непосредственно в разливочном ковше емкостью 0,5 т при переливе металла из раздаточного ковша емкостью 8 т в разливочный вводом лигатуры под струю металла после заполнения его металлом на 1/4. Во втором варианте раскисление металла алюминием производили в раздаточном ковше емкостью 8 т при сливе его из печи в ковш

путем подачи алюминиевых чушек на штанге (по 2 кг каждая) под струю металла. После этого при переливе металла из раздаточного ковша в разливочный произвели модифицирование БКЛ вводом его под струю металла. Разливку металла по формам проводили при $T=1550^{\circ}\text{C}$ (показания пирометра).

Для определения механических свойств стали были отлиты стандартные образцы в соответствии ГОСТ. Данные образцы подвергали термической обработке (нормализация+отпуск) в муфельной электропечи. Режим термообработки приведен в табл. 2.

Таблица 2. Режим термообработки образцов стали, модифицированной БКЛ

Параметр	Нормализация	Отпуск
Температура печи при посадке, $^{\circ}\text{C}$	400	300
Скорость нагрева до заданной температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$	50	50
Температура выдержки, $^{\circ}\text{C}$	880	630
Время выдержки, ч	3	3
Условия охлаждения	Охлаждение на воздухе	Охлаждение на воздухе

Приведенный режим соответствует заданному. Механические свойства на растяжение определяли на разрывных образцах по ГОСТ 1497 при температуре испытания $+20^{\circ}\text{C}$, ударную вяз-

кость — на образцах типа 1-KCU по ГОСТ 9454. Результаты механических испытаний после проведенного режима термообработки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Механические свойства стали 35Л, модифицированной БКЛ

Маркировка	Механические свойства				
	$T_{\text{исп}} = +20^{\circ}\text{C}$				$T_{\text{исп}} = -60^{\circ}\text{C}$
	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, Дж/см
Требования ГОСТ 977-88 для стали 35Л после термообработки: нормализация 860–880 $^{\circ}\text{C}$ охлаждение на воздухе отпуск 600–630 $^{\circ}\text{C}$ охлаждение на воздухе	275	491	15	25	10–34
Модифицирование БКЛ	337	611	20,5	28,5	66
	344	586	18,0	32,0	68
	356	602	19,0	29,0	62
Модифицирование БКЛ + Al	359	626	29,5	32,0	75
	366	612	25,0	29,0	68
	360	630	27,5	30,0	71

Для исследования микроструктуры были изготовлены микрошлифы из образцов, вырезанных из отливок, используемых в конструкциях и производстве MoA3, прошедших ту же термообработку, что и образцы на механические испытания. Микроструктура выявлялась химическим травлением в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты H_2NO_3 . Фотографирование проводили на

микроскопе «Neophot» при 100-кратном увеличении. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639 путем сравнения микроскопического изображения при увеличении 100 с эталонными шкалами на микроскопе «Neophot-121».

Металлографическая оценка загрязненности металла неметаллическими включениями дана в табл. 4, а микроструктура обеих плавок показана на рис. 1, 2.

Таблица 4. Загрязненность неметаллическими включениями и микроструктура стали 35Л, модифицированная БКЛ

Номер образца с модификатором	Неметаллические включения			Балл зерна	Микроструктура
	сульфиды пластинчатые	оксиды точечные	силикаты хрупкие		
БКЛ	№1	№1	№1	7-8	Ф+П
БКЛ+Al	№1	№1	№1-2	7	Ф+П+М

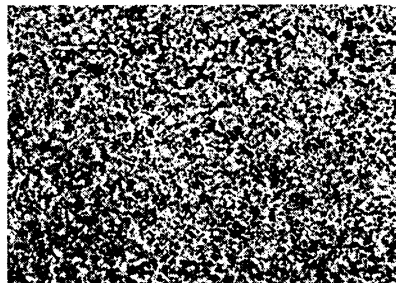


Рис. 1. Микроструктура стали 35Л, модифицируемая БКЛ

В результате проведенных исследований установлено, что:

1. Измельчение структуры и повышение механических свойств углеродистой стали 35Л может быть достигнуто за счет регулирования и управления процессом затвердевания металла, методом воздействия на процессы зональной ликвиции, введением модифицирующих добавок в расплав и снижением температуры разливки металла по формам;

2. Предложенная концепция достижения мелкозернистости и однородности в стали 35Л оказалась продуктивной при формировании структуры. Микроструктура стали 35Л, модифицируемая БКЛ без раскисления алюминием, – мелкозернистая. Размер действительного зерна соответствует 7, 8-му баллу шкалы ГОСТ 5639, представляет собой ферритно-перлитную смесь (рис. 1). Микроструктура стали 35Л, модифицируемая БКЛ и предварительно раскисленная алюминием, с расходом 2,4 кг на 1 т годного литья – мелкозернистая. Размер действительного зерна соответствует 7-му баллу шкалы ГОСТ 5639, представляет

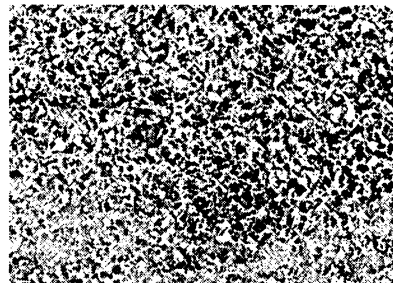


Рис. 2. Микроструктура стали 35Л, модифицируемая БКЛ+Al

собой ферритно-перлитную смесь с небольшими участками мартенсита (рис. 2).

Выводы

- Воздействия бескремневой комплексной лигатуры на процессы кристаллизации углеродистой стали 35Л существенно изменили механические и литейные свойства стали, что позволяет предложить замену легированных сталей на углеродистую без снижения и долговечности изготавливаемых из них деталей.

- Оценена эффективность измельчения структуры, повышения однородности и прочности при различных способах раскисления углеродистой стали 35Л и показаны преимущества нового раскислителя, полученного на основе управления зернограницными эффектами.

Литература

1. Арсов Я.Б. Стальные отливки. М.: Машиностроение, 1977.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1969.