



In the article there are given the results of investigation on important matter — cold-resistance of building steel 20 GL. There are given the explanations of effects occurring in steel during the process of thermal treatment at changing of its chemical composition.

В. Г. БАБКИН, А. В. ДОБРЫНИНА,
Красноярский государственный технический университет

УДК 621.74:669.14

МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕМ КОНСТРУКЦИОННЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ХЛАДОСТОЙКОСТИ ОТЛИВОК

Микролегирование алюминием широко применяется для улучшения свойств литых сталей [1,2]. Введение в жидкую сталь малых количеств алюминия может привести к модифицированию литой структуры, проявляющемуся в измельчении первичных кристаллитов, и повышению некоторых физико-механических свойств. Вместе с тем нет единого мнения как по количеству вводимого алюминия, так и по механизму его влияния на структуру и физико-механические свойства стали.

Представляло интерес исследовать влияние малых добавок алюминия на комплекс физико-механических свойств стали 20 ГЛ, выплавляемой в цехе контейнерного завода ОАО «Абаканвагонмаш» и применяемой для вагонного литья ответственного назначения. Для построения графиков зависимости прочностных характеристик, вязкости и пластичности стали от количества вводимого алюминия провели с помощью ЭВМ статистическую обработку производственных данных приемосдаточных испытаний химического состава и механических свойств 880 плавок стали 20 ГЛ. Данные испытаний за период с марта 1999 г. по март 2000 г. сгруппировали по содержанию химических элементов и в результате статистической обработки получили для основных характеристик стали значения выборочных среднего $\bar{x}$, дисперсии S^2 , среднеквадратичного отклонения S , коэффициента вариации v ; рассчитали доверительные интервалы для среднего значения и среднеквадратичного отклонения [3].

Результаты расчетов позволили построить кривые зависимости свойств стали от содержания алюминия (рис. 1–3) (пунктирные линии).

С целью получения наиболее достоверной информации о влиянии алюминия на механические свойства и структуру стали, помимо статистической обработки имеющихся заводских данных, были проведены дополнительные эксперименты. Сталь 20 ГЛ выплавляли в основной

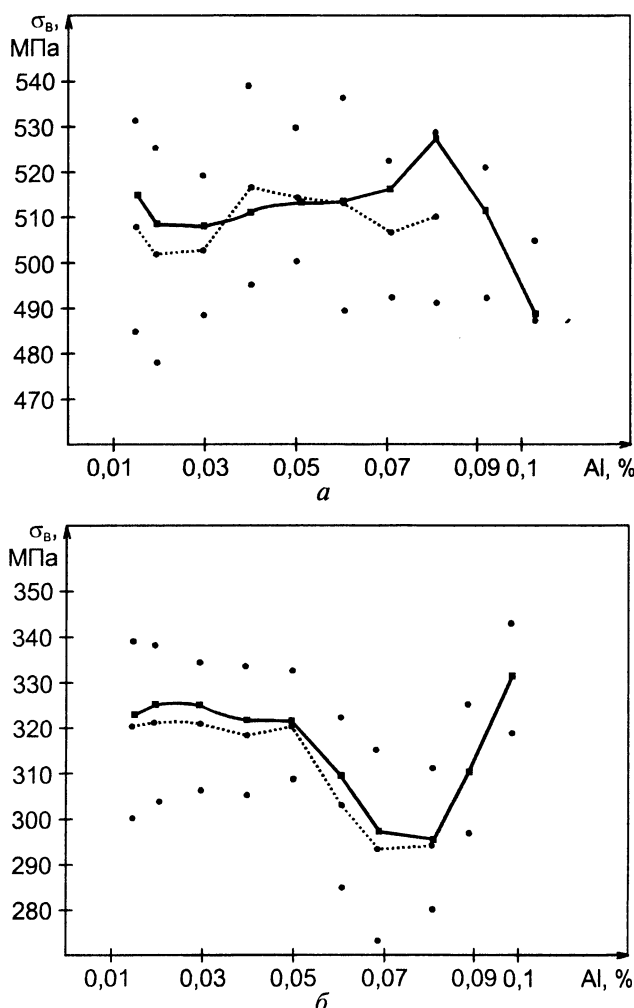


Рис. 1. Зависимость предела прочности (а) и предела текучести (б) стали от содержания алюминия

электродуговой печи следующего состава, %: С — 0,17–0,18; Мn — 1,1–1,2; Si — 0,35; S — 0,025; Р — 0,025; Cr — 0,18–0,20; Ni — 0,01; Мо — 0,016. Разливку проводили фракционным методом для получения различного содержания алюминия в пределах одного химического состава. Согласно данным химического анализа, в полученных про-

бах содержание алюминия варьировалось от 0,01 до 0,1 %. На рис. 1 – 3 представлены результаты экспериментов (сплошные линии).

Анализ результатов показывает, что зависимость свойств стали от количества вводимого алюминия носит сложный характер, а в ряде случаев имеет ярко выраженный максимум – улучшение свойств происходит до определенного содержания, после достижения которого свойства понижаются.

На рис. 1 показана зависимость предела прочности σ_B (рис. 1, а) и предела текучести σ_T (рис. 1, б) от содержания алюминия. Максимальная прочность достигается при 0,08 % алюминия. Дальнейшее повышение его содержания сопровождается резким снижением предела прочности. Такой характер изменения прочностных свойств обусловлен рядом причин. Введение в жидкий металл небольшого количества алюминия сверх, так называемых критических доз, необходимых для раскисления стали, приводит к модифицированию литой структуры. Алюминий, являясь сильным поверхностно-активным компонентом, адсорбируется на границах растущих кристаллитов и уменьшает их линейную скорость роста. На рис. 4 показана взаимосвязь прочности с соответствующими параметрами микроструктуры нормализованной стали 20 ГЛ, содержащей 0,027 % Al (рис. 4, а) и 0,038 % Al (рис. 4, б).

Другой причиной повышения предела прочности с ростом содержания алюминия является упрочнение твердого раствора феррита атомами алюминия. Анализ электронного строения атомов железа и алюминия показывает, что алюминий должен отдавать электроны *d*-оболочке атомов железа и тем самым упрочнять феррит [4]. Повышению σ_B , очевидно, способствует также дисперсионное упрочнение стали нитридами алюминия.

Изменение предела текучести носит противоположный характер: сначала он падает, а затем возрастает (см. рис. 1, б). Минимальные значения σ_B наблюдаются при содержаниях алюминия от 0,06 до 0,09 %. Обращает на себя внимание то, что, несмотря на измельчение структуры, предел текучести падает с ростом содержания алюминия. Наиболее вероятной причиной этого служит то, что алюминий связывает в нитриды и оксиды азот и кислород, образующие вокруг дислокаций облака Коттрелла, которые в свою очередь способствуют увеличению подвижности дислокаций. Увеличение предела текучести при концентрации алюминия выше 0,08 % связано с ростом количества дисперсных нитридов алюминия, т.е. обусловлено, по-видимому, дисперсионным упрочнением.

Микролегирование алюминием оказало положительное влияние на пластические характеристики стали (см. рис. 2) и, следовательно, на

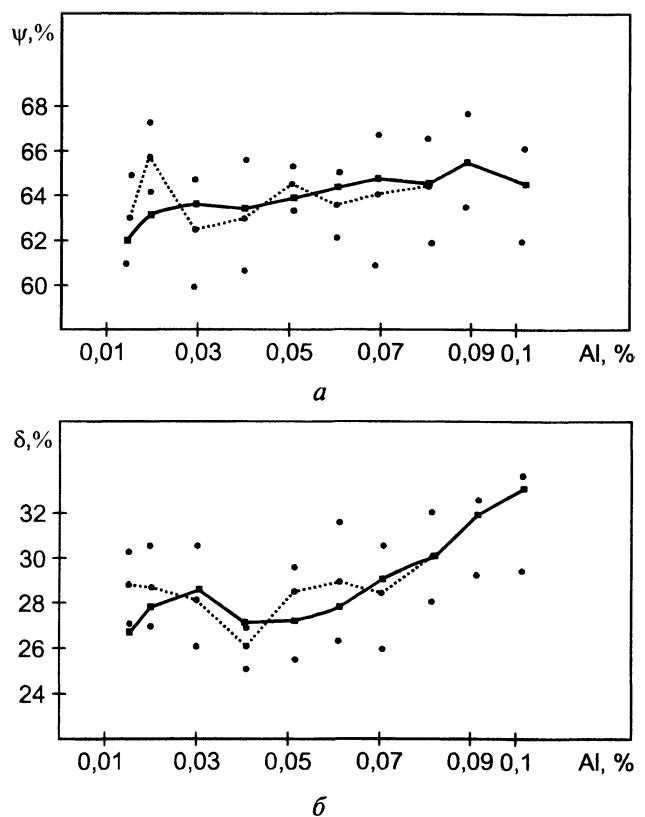


Рис. 2. Зависимость относительного сужения (а) и относительного удлинения (б) от содержания алюминия

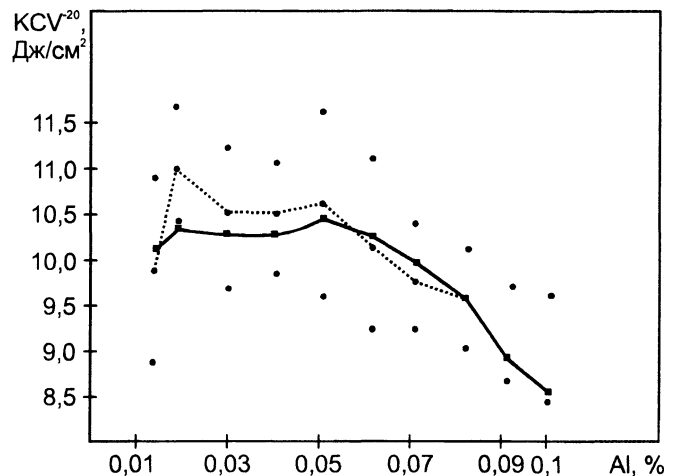


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости стали от содержания алюминия

снижение склонности стали к хрупкому разрушению. Повышение пластичности стали с увеличением содержания алюминия можно объяснить особенностями первичной кристаллизации сплава. Известно, что выделение сульфидов, фосфидов и других легкоплавких соединений в сталях происходит при затвердевании и они сосредоточены в пограничных зонах первичных кристаллитов и межосных пространствах дендритов. Поэтому наблюдаемые проявления межкристаллитного разрушения рассматриваются как результат возникновения прослоек по границам первичных кристал-

литов. Микролегирование алюминием устраняет вредное влияние примесей, обогащающих границы аустенитных зерен. Исследования показали, что алюминий является более адсорбционно-активным по сравнению с «вредной» примесью веществом, способным вытеснять атомы «вредной» примеси с границ зерен, предотвращая опасность охрупчивания межзеренных границ [5].

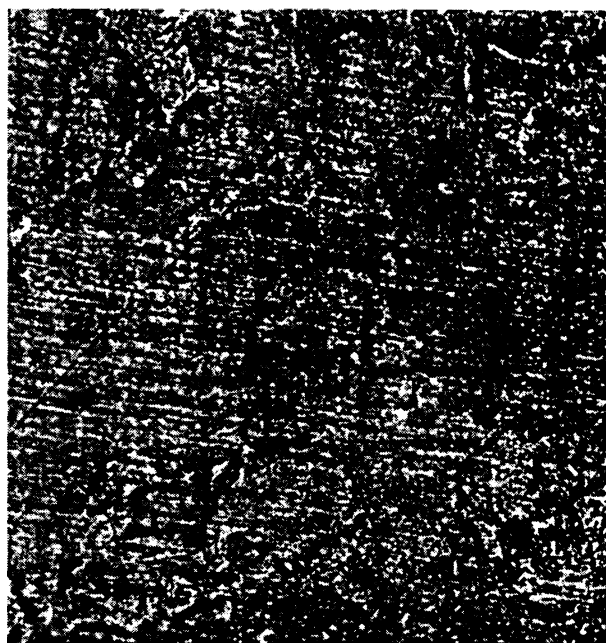
Исследование микроструктуры стали показало, что малые добавки алюминия способствуют увеличению доли феррита в структуре, при этом происходит и заметное измельчение ферритных зерен. Это также является одной из причин повышения пластических характеристик стали.

Зависимость ударной вязкости от содержания алюминия носит экстремальный характер (см. рис. 3). С повышением содержания алюминия до 0,05 % ударная вязкость монотонно растет, а затем заметно снижается. Учитывая, что в процессе приготовления сталь достаточно хорошо раскислена, основным элементом, оказывающим наибольшее отрицательное действие на ударную вязкость, является азот, который присутствует в ней до 0,01 %. Азот при высокой температуре находится в твердом растворе, а при достижении предела растворимости в процессе охлаждения затвердевшего сплава выделяется в пограничных зонах вторичных границ, образуя хрупкие фазы; в результате ударная вязкость с увеличением содержания азота уменьшается [6]. Небольшие добавки алюминия взаимодействуют с азотом, уменьшая его содержание в твердом растворе и склонность к этому типу межкристаллитного разрушения. Увеличение количества алюминия более 0,05 % приводит к выделению избыточного алюминия в виде оксидов по границам аустенитных зерен. Образующиеся сегрегации вызывают охрупчивание межзеренных границ, тем самым снижая ударную вязкость.

Таким образом, наиболее оптимальным содержанием алюминия в стали 20 ГЛ является его концентрация в пределах 0,02–0,05 %. Микролегирование таким количеством алюминия способствует измельчению структуры, упрочнению феррита и связыванию азота и кислорода в нитриды и оксиды с благоприятным распределением в твердой фазе. Это приводит к некоторому росту пластичности, ударной вязкости и предела прочности при одновременном незначительном снижении предела текучести. Подобный комплекс свойств является оптимальным для стальных отливок, работающих в условиях переменных нагрузок при отрицательных температурах.

Литература

1. Мовчан Б. А. Границы кристаллитов в литых металлах и сплавах. Киев: Техника, 1970.



а



б

Рис. 4. Микроструктура нормализованной стали 20 ГЛ, содержащей 0,027 % Al (а) и 0,038 % Al (б). $\times 1000$

2. Морозов Ю. И. Микролегирование как путь повышения свойств строительных сталей // Национальная металлургия. 2001. №3. С. 37–41.
3. Грановский В. Т., Сирая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. М.: Машиностроение, 1990.
4. Карапетьянц М. Х., Дракин С. И. Строение вещества. М.: Высш. шк., 1990.
5. Бабкин В. Г., Добрынина А. В. Критерии выбора элементов для микролегирования малоуглеродистых и низколегированных сталей с целью повышения их хладостойкости // Вестн. КГТУ. Сер. Машиностроение. Красноярск, 2002.
6. Гуляев А. П. Влияние термической обработки и легирующих элементов на конструкционную прочность стали // МиТОМ. 1967. № 10. С. 66–72.