

коккан» (Япония) для «мягкого» обжатия заготовки сечением 400×520 мм использовали валки с длиной бочки 250–300 мм, что позволило ослабить ликвацию и исключить появление внутренних трещин.

Таким образом, рассмотренные практические данные относительно эффективности метода динамического «мягкого» обжатия непрерывнолитых заготовок свидетельствуют о перспективности его применения для влияния на свойства стали при непрерывной разливке.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БОРА НА СВОЙСТВА КАТАНКИ

А. И. Пости

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Рассмотрены основные факторы, влияющие на прокаливаемость стали марки 20Г2Р после закалки и охлаждения в масле. Определены химические элементы, а также их процентное содержание в стали, позволяющие достичь необходимого уровня механических свойств в соответствии с требованиями различных потребителей. Приведены основополагающие факторы процесса прокатки, влияющие на формирование микроструктуры, которая, в свою очередь, также позволяет увеличить фактические значения механических свойств, в частности твердости, после закалки и охлаждения в масле.

Применение борсодержащих марок сталей – это современная общемировая тенденция. Ведущие заводы, выпускающие крепеж высоких классов прочности (8.8, 10.9), используют преимущественно борсодержащую сталь. Высокопрочный крепеж, производимый для автомобильной промышленности, выпускается в основном из борсодержащих марок сталей 20Г2Р, 30Г1Р, которые отличаются повышенной прокаливаемостью, что обеспечивает стабильные механические свойства при ее закалке в воде, масле. Высокая прокаливаемость достигается благодаря микролегированию бором и легированию марганцем.

Содержание мартенсита в микроструктуре стали после закалки обеспечивает высокую твердость за счет высокой скорости охлаждения и наличия свободного бора в структуре. У доэвтектоидной стали 20Г2Р кроме ряда преимуществ существуют и технологические трудности. К ним относится необходимость предотвращения связывания бора в нитриды при выплавке стали, так как на прокаливаемость стали оказывает влияние не весь присутствующий в стали бор, а только «эффективный» (твердорастворимый, не связанный в нитриды). Нарушение этого условия приводит к нестабильности их свойств и низкому качеству проката из-за невозможности получения необходимой твердости после закаливания.

Основным элементом, оказывающим ключевое влияние на величину «эффективного» бора, является азот. Образования нитридов бора в этом случае следует избегать, для чего в металл вводится титан, который обладает большим сродством к азоту, чем бор, и также образует нитриды в жидкой фазе. Обычно при выплавке стали с микродобавкой бора вводят титана в 4–5 раз больше (в виде ферротитана), чем содержание азота в стали, учитывая отношение атомных весов титана и азота, а также степень усвоения титана. Количество «эффективного» бора можно спрогнозировать на основе анализа термодинамического равновесия системы Fe–Al–Ti–B–N.

Для получения «эффективного» бора 0,001 % (минимальное значение для повышения механических свойств) требуется [1]:

– введение алюминия не менее 0,030 % и титана не менее 0,015 % при содержании азота 0,008 %;

– введение алюминия не менее 0,040 % и титана не менее 0,021 % при содержании азота 0,010 %.

Полное связывание азота в нитриды типа TiN и AlN обеспечивает защиту бора от связывания его в нитриды и резко повышает характеристики прокаливаемости стали.

При разработке химического состава стали марки 20Г2Р для получения необходимых механических значений, в частности твердости HRC в центре сечения контрольного образца по ТУ-14-1-4486–88, используется метод теоретического расчета прокаливаемости стали «Jominy», тест, в котором предусмотрено определение твердости HRC на подкате (не в готовом сорте) и охлаждении в воде. В соответствии с ГОСТ 10702, стандартными спецификациями измерение твердости производится в готовом сорте на образцах закаленных и охлажденных в масле. Для того чтобы разные среды охлаждения не приводили к значительным расхождениям между теоретическим расчетом и фактическими значениями, все дальнейшие испытания, а также обработка статистических данных проводились на образцах, закаленных и отпущенных в масле [2].

В качестве примера за основу требований, предъявляемых к стали марки 20Г2Р, были взяты технические условия ТУ-14-1-4486–88, по которым производится большая часть борсодержащей катанки.

Для сравнительного анализа были выбраны несколько плавок (см. таблицу), на которых при производстве катанки диаметром 10,5 мм были получены несоответствующие требованиям ТУ-14-1-4486–88 значения прокаливаемости (HRC – 31–37) при норме не менее 37 HRC.

Фактические значения химического анализа исследуемых плавок

| Номер плавки | Номер профиля | Углеродный эквивалент | Отношение |
|--------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| | | | Ti/N ₂ |
| 1 | 10,5 | 0,433 | 3,79 |
| 2 | 10,5 | 0,425 | 3,96 |
| 3 | 6,5 | 0,452 | 4,90 |
| 4 | 10,5 | 0,459 | 6,64 |
| 5 | 16,5 | 0,464 | 6,79 |

Из таблицы следует, что требования, предъявляемые к химическому составу стали марки 20Г2Р, соответствуют ТУ-14-1-4486–88.

На рис. 1 представлены результаты исследования на растровом электронном микроскопе состава включений по границам аустенитного зерна и в зерне. На исследуемых плавках недостаточное содержание титана, а следовательно, и отношения Ti/N₂ не менее 4 в совокупности с длительным временем выдержки металла между присадкой бора и началом разливки, привело к величине «эффективного бора», недостаточной для обеспечения требуемого уровня твердости после закалки. Часть бора, в свою очередь, перешла в оксиды, нитриды и другие соединения и не находилась в твердом растворе аустенита. Борсодержащие включения выявлены в центре аустенитных зерен, т. е. они являлись центрами кристаллизации металла.

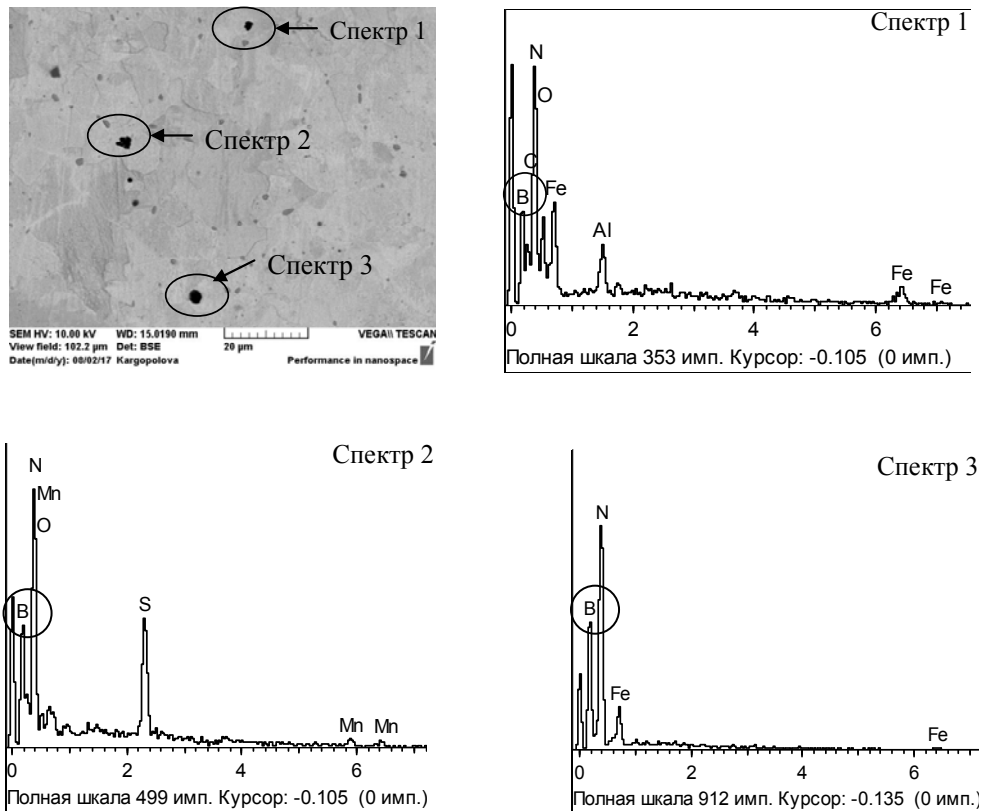


Рис. 1. Результаты исследования на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором состава включений по границам аустенитного зерна и в зерне

Были проведены корректировки химического состава в сторону незначительного увеличения элементов, которые основным образом влияют на прокаливаемость стали (C, Mn, Cr (см. таблицу), номера плавков 3–5). Также было установлено соотношение Ti/N_2 не менее 4. После этого были получены положительные результаты испытаний по определению твердости после закалки, и составили они 40–43 HRC (рис. 1).

Одним из самых больших профилей марки стали 20Г2Р, который производится в рамках ОАО «БМЗ» стана 370/150, является 16,5 мм. Существует зависимость: чем больше профиль (при одинаковом химическом составе), тем сложнее получить на нем сквозную прокатку, а соответственно, и требуемую твердость. Поэтому как видно из таблицы, для диаметра катанки 16,5 мм по сравнению с более мелкими профилями и соотношение Ti/N_2 составляет 6,79, что, в свою очередь, позволяет обеспечить необходимый уровень механических свойств в соответствии с ТУ-14-1-4486–88.

Литература

1. Потапов, А. И. Исследование процессов микролегирования стали бором с целью совершенствования технологии производства борсодержащей стали : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Потапов. – М., 2013. – 116 с.
2. Баратынцева, Е. П. Влияние микролегирования бором на прокаливаемость сталей / Е. П. Баратынцева, Н. А. Глазунова, О. В. Роговцова // Литье и металлургия. – 2016. – № 3. – С. 70–74.