

После этого определяем для выбранной пружины осадку при воздействии ударного импульса по формуле:

$$\lambda_1 = \frac{\bar{S}}{\sqrt{2 \cdot c \cdot m_{\text{РОЛ}}}} \leq [\lambda_0], \quad (15)$$

где $c = \frac{N_2}{\lambda}$.

Если выбранные параметры пружины удовлетворяют условиям (13)–(15), то подбор пружины на этом заканчивается.

Теперь, имея значения внешних факторов $V_{\text{ВШ}}(t)$, представленных силой N_2 , и внутренних $V_{\text{ВН}}(t)$, представленных параметрами пружины: R, r, n, d, λ_0 и τ_{max} , можно воспользоваться разработанной моделью оценки степени возможных повреждений детали [1], для определения ее вероятностного значения для деталей рассматриваемой машины, главным фактором которой будет являться ее производительность:

$$R(t) = \sum_{S_{\text{РАСК}}=1}^k r_{S_{\text{РАСК}}} \cdot \left(\frac{Q_{S_{\text{РАСК}}}}{1000} \right), \quad (16)$$

где $S_{\text{РАСК}}$ — тип раската (по весу), $S_{\text{РАСК}}=1 \dots k$; k — количество типов раската; $Q_{S_{\text{РАСК}}}$ — суммарная масса раскатов типа $S_{\text{РАСК}}$, пройденная через манипулятор за интервал времени t ; $r_{S_{\text{РАСК}}}$ — удельное повреждение детали при воздействии на нее нагрузок от воздействия на нее 1000 тонн раскатов типа $S_{\text{РАСК}}$.

Таким образом, представленную модель достаточно легко адаптировать под любую металлургическую машину, что поможет обоснованно подойти к вероятностному определению степени повреждения ее деталей не только во время эксплуатации, но и на стадии их проектирования.

Список литературы

1. Ченцов Н.А., Ручко В.Н. Оценка использованной части ресурса деталей металлургического оборудования по усталостной прочности // «Защита металлургических машин от поломок». — Мариуполь, 1998. — С. 47–50.
2. Иванченко Ф.К., Полухин П.И., Тылкин М.А., Полухин В.П. Динамика и прочность прокатного оборудования. — М.: Металлургия, 1970. — 487 с.
3. А.с. СССР № 452382 «Манипулятор-кантователь обжимного стана», 1974.
4. Бутенин Н.В., Луиц Я.Л., Меркин Д.Ф. Курс теоретической механики. Т.2. — М.: Наука, 1971. — 462 с.

© Руденко В.И., Степанова Л.А., Ручко В.Н., 2002

МАНЯК Н.А. (ДонНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БОРА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КИПЯЩЕЙ СТАЛИ

Установлено, что модифицирование кипящей стали бором обеспечивает снижение химической неоднородности слитка, увеличение толщины плотной корочки и придает стали иммунитет против старения.

Специфической особенностью кристаллизации кипящей стали является интенсивное газовыделение и образование пузырей в слитке. Кипение стали обычно начина-

ется с момента попадания ее в изложницу и продолжается в течение всего времени затвердевания металла. В процессе кристаллизации стали формируется структура слитка, которая во многом определяет свойства проката. Влияние бора на формирование структуры кипящего слитка исследовали на слитках массой 20 кг.

С целью исключения влияния других технологических факторов исследованию подвергали металл одной и той же плавки после фракционной разливки. Химический состав стали базовых плавок следующий (СтЗкп, 08кп соответственно, %): С — 0,22, 0,09; Mn — 0,45, 0,32; Si — 0,06, 0,02; S — 0,031, 0,028; P — 0,015, 0,019; O — 0,013, 0,019; N — 0,014, 0,017.

Макроструктуру стали исследовали на продольных осевых темплетах.

Установлено, что во всех случаях слитки имеют обычную макроструктуру, характерную для кипящей стали. Однако наблюдается существенное различие в толщине здоровой корочки и характере расположения сотовых пузырей. В слитках без бора толщина корочки составляет 4...5 мм. В отдельных местах сплошность ее нарушается пузырями, причем некоторые из них выходят практически на поверхность слитка. При таком расположении газовых пузырей нагрев слитков и последующая обработка давлением может привести и приводит к разрыву корочки слитка. Это влечет за собой окисление поверхности пузырей, которая в дальнейшем не сваривается. На поверхности проката в этом случае образуется большое количество рванин и трещин.

При введении бора на уровне 0,0015% толщина корочки увеличивается. Однако это увеличение наблюдается только в нижней части слитка. По мере увеличения высоты слитка толщина ее уменьшается и в верхней части (примерно 1/3 слитка) превышает толщину корочки слитка без бора.

Наличие в кипящей стали 0,0032% бора приводит к формированию здоровой корочки толщиной 14...16 мм. Газовые пузыри расположены равномерно вдоль корочки.

Толщина плотной корочки, главным образом, определяется скоростью разливки. Но при одинаковой скорости наполнения изложниц и постоянном отношении [O]:[C] толщина корочки будет определяться моментом начала процесса самораскисления. Эта реакция особенно активно протекает на границе растущих кристаллов и слоя жидкого металла, обогащенного ликвирующими примесями (кислородом, углеродом и др.). Следовательно, можно предположить, что введение бора в кипящий металл приводит к уменьшению степени химической неоднородности. Это задерживает начало реакции самораскисления и толщина плотной корочки при этом увеличивается. Кроме того, задержка начала реакции самораскисления приводит к тому, что пузыри образуются в жидком металле при более низкой температуре. Вязкость стали при снижении температуры повышается и всплывание пузырей монооксида углерода затрудняется. Кроме того, бор, являясь поверхностно активным элементом, адсорбируется на поверхности растущих пузырей. Межфазная энергия на границе пузырь-расплав при этом уменьшается, что также способствует уменьшению скорости всплывания пузырей. Вследствие этого, большая часть пузырей фиксируется в металле вдоль фронта кристаллизации, что и наблюдается в слитке с 0,0032% бора.

С целью проверки предположения о снижении химической неоднородности кипящей стали при введении в нее бора было проведено исследование влияния его на дендритную структуру металла. Результаты исследования представлены в таблице 1. Установлено, что бор не оказывает влияния на дисперсность дендритной структуры. Этот показатель как в металле без бора, так при содержании его 0,0032% находится на одном уровне: 59,1 и 60,4 см⁻¹ соответственно. Однако плотность дендритной структуры с введением в металл бора существенно снижается. Если в металле без бора плотность дендритной структуры составляла 1,5, то микродобавка бора на уровне 0,0032% снижает ее до 1,1. Средняя толщина дендритных осей при введении бора также умень-

шается со 168,9 до 142,3 мкм. Следовательно, бор, адсорбируясь на поверхности растущих дендритов, тормозит их рост. При одинаковом количестве дендритов (постоянство дендритной дисперсности) уменьшение толщины их осей приводит к увеличению количества металла, кристаллизующегося в междендритных участках. Ранее нами было установлено, что химический состав осей дендритов независимо от ввода модификаторов остается практически постоянным [1]. Поэтому увеличение доли металла, кристаллизующегося в междендритных участках, приводит к более равномерному распределению примесей в микрообъемах. Вследствие этого степень дендритной ликвации при введении бора уменьшилась с 36 до 16%, т. е. более, чем в два раза.

Таблица 1. Показатели дендритной структуры СтЗкп

Содержание бора, %.	Средняя толщина дендритных осей, мкм	Дисперсность дендритной структуры, см ⁻¹	Плотность дендритной структуры	Степень дендритной ликвации, %
-	168,9	59,1	1,5	36
0,0015	157,8	60,2	1,3	24
0,0032	142,3	60,4	1,1	16

Более равномерное распределение примесей в микрообъемах приводит к равномерному их распределению и в объеме слитка. На рис. 1 представлен характер изменения содержания углерода и серы по поперечному сечению слитка на половине его высоты.

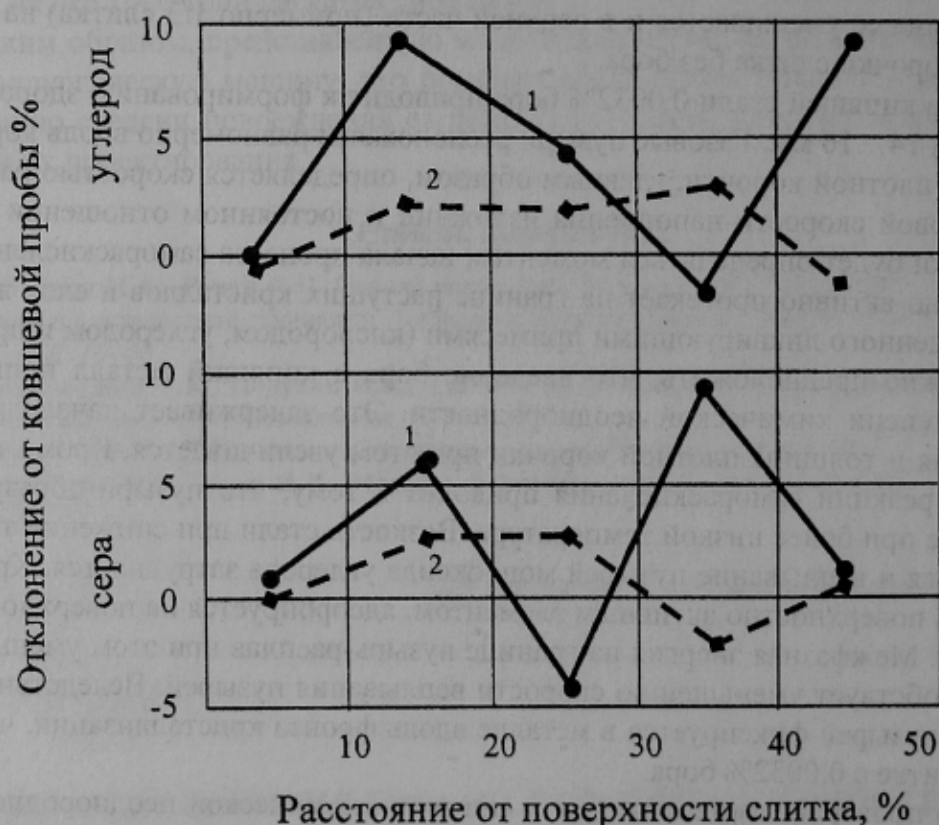


Рис. 1. Изменение содержания углерода и серы по сечению слитка (диаметр слитка 90 мм): 1 — металл без бора; 2 — 0,0032% бора

Из приведенных данных видно, что при введении в кипящую сталь бора в количестве 0,0030...0,0035% химическая однородность слитка повышается. Так, если максимальное отклонение концентрации углерода от ковшевой пробы в сравнительном металле составляет 9%, то в металле с бором оно не превышает 3%. Аналогичная картина наблюдается и с распределением серы.

Одним из недостатков кипящей стали является ее старение. Известно, что бор способен уменьшить растворимость азота в стали ниже 1473К значительно больше, чем алюминий и даже ванадий [2]. Поэтому были проведены исследования влияния бора на склонность стали 08кп к старению. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2. Механические свойства стали 08кп

Содержание бора, %	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ_5 , %
0	372	285	22,5
	394	305	19,6
0,0008	330	279	23,7
	385	291	21,9
0,0018	355	242	25,1
	362	218	24,5
0,0044	328	210	27,6
	331	207	26,9

Примечание: В числителе свойства в горячедеформированном состоянии; в знаменателе — после искусственного старения. Приведены средние значения по пяти испытанным образцам

Анализ приведенных данных показывает, что введение бора в кипящую сталь существенно снижает склонность металла к старению.

С целью определения оптимального количества бора, достаточного для придания стали иммунитета против старения, были получены уравнения зависимости изменения механических свойств от содержания бора в стали:

$$\Delta\delta=2,28-445,86 [B];$$

$$\Delta\sigma_{в}=2,11-560,05 [B];$$

$$\Delta\sigma_{Т}=1,72-386,06 [B],$$

где [B] — концентрация бора в стали, %.

Решение этих уравнений относительно изменения свойств, равного нулю, показывает, что для предотвращения старения стали 08кп содержание бора в ней должно быть не менее 0,0038...0,0050% (рис. 2).

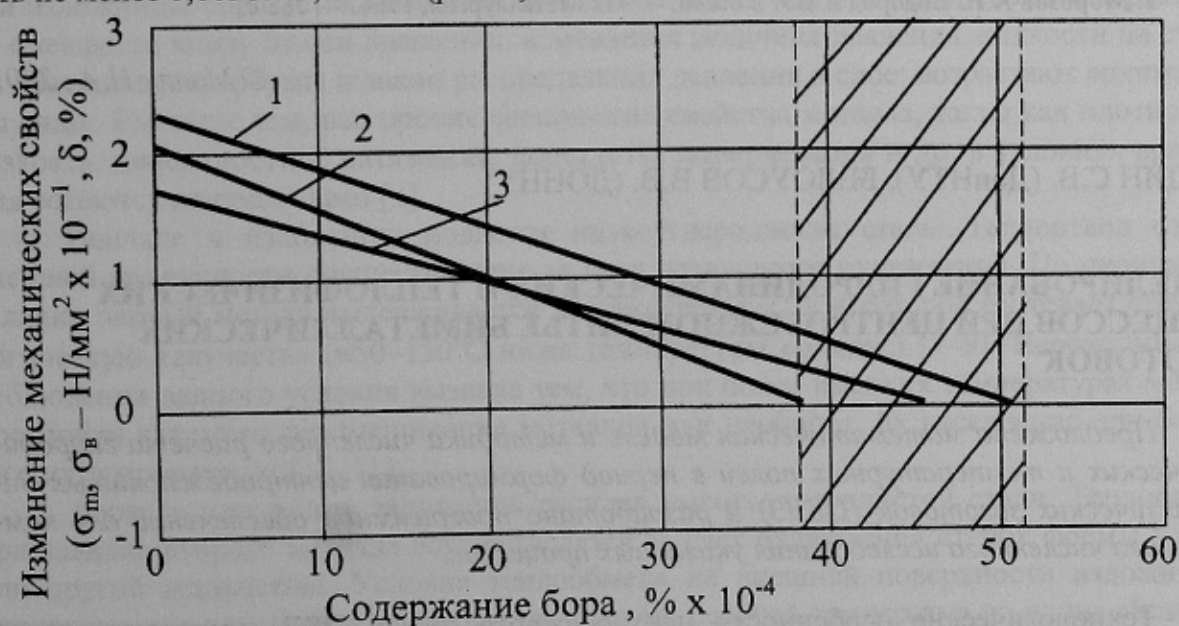


Рис. 2. Изменение механических характеристик стали 08кп в зависимости от содержания бора: 1 — относительное удлинение; 2 — временное сопротивление разрыву; 3 — предел текучести

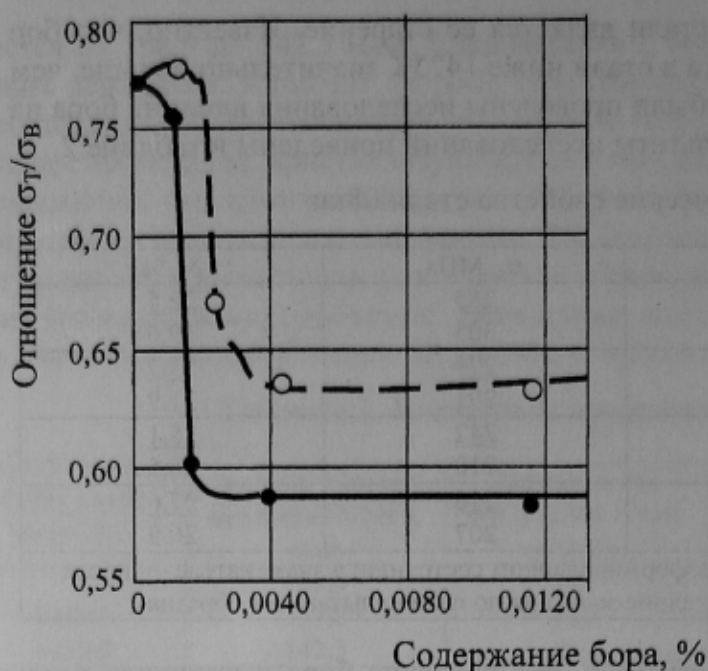


Рис. 3. Влияние бора на отношение σ_T/σ_B для стали 08кп: \circ — в горячекатаном состоянии; \bullet — после старения

ных дефектов проката. При модифицировании кипящей стали бором наблюдается более равномерное распределение элементов, как в микрообъемах, так и по всему объему слитка. Кроме того, микролегирование кипящей стали бором обеспечивает повышение пластичности стали и придает ей иммунитет против старения.

Список литературы

1. Маняк Н.А., Шлемко С.В., Крикунов Б.П. Сталь с регламентированным микросоставом. — Донецк: Донбасс, 1995. — 166 с.
2. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. — М.: Металлургия, 1968. — 283 с.

© Маняк Н.А., 2002

ГРИДИН С.В. (ДонНТУ), БЕЛОУСОВ В.В. (ДОННУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Предложена математическая модель и методика численного расчета гидродинамических и температурных полей в период формирования центробежнолитых биметаллических заготовок (ЦБЛЗ) и разработано программное обеспечение для комплексного численного исследования указанных процессов.

Технологические особенности центробежного литья (ЦБЛ) открывают такие преимущества, как отливка полых крупногабаритных стальных слитков без применения стержней, отливка двухслойных и многослойных изделий, динамическое воздействие на процесс кристаллизации и кристаллическую структуру отливок, покрытие по-