

Рис. 2. Залежність β від χ (крива 1); залежність γ_n від χ (крива 2 й 3)

У табл. 1 показано області можливих значень ймовірностей відмови P_f та характеристики безпеки β для випадку забезпечення розрахункових значень навантажень та опорів $\beta_q=1,65$ $\beta_r=2,56$ для різних значень γ_n [4].

Таблиця 1

χ	v_r	v_q	$(v_r^2 + v_q^2)^{1/2}$	$\gamma_n = 1$		$\gamma_n = 0,95$		$\gamma_n = 0,9$	
				β	P_f	β			
0,1	0,05	0,50	0,502	1,90	0,0287	1,80	0,1	0,05	0,50
0,2	0,10	0,50	0,510	2,12	0,0170	2,02	0,2	0,10	0,50
	0,05	0,25	0,255			1,92		0,05	0,25
0,5	0,25	0,50	0,559	2,62	0,0044	2,53	0,5	0,25	0,50
	0,05	0,10	0,112			2,16		0,05	0,10
1	0,30	0,30	0,424	2,98	0,0014	2,86	1	0,30	0,30
	0,05	0,05	0,071			2,26		0,05	0,05
2	0,30	0,15	0,335	3,02	0,0013	2,87	2	0,30	0,15
	0,10	0,05	0,112			2,56		0,10	0,05
3	0,30	0,10	0,316	2,95	0,0016	2,79	3	0,30	0,10
	0,15	0,05	0,158			2,63		0,15	0,05

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз табл. 1, дозволяє дійти висновку, що сучасні методи проектування споруд масового застосування та оцінки рівня їх залишкової несучої здатності можуть призводити до неоднозначних результатів, коли ймовірність відмови при $\gamma_n=0,9$ виявляється меншою ніж при $\gamma_n=1,9$.

Отже, проектна надійність конструкцій залежить не тільки від встановлених рівнів розрахункових значень вихідних величин, але й від співвідношення їх мінливостей.

Аналіз надійності конструкцій, що проектуються в припущенні їх доопрацювання з точки зору встановлення розрахункових значень показує, що рівень надійності конструкцій однакової відповідальності може відрізнятися в декілька десятків разів.

У зв'язку з викладеним, доцільно виконати певне корегування існуючих методів розрахунку. А саме, основну вимогу з надійності - співставлення розрахункових значень, замінити вимогою співставлення проектної ймовірності відмови з нормованим значенням цієї ймовірності. Зрозуміло, що останнє твердження потребує додаткових досліджень.

Список літератури

1. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. – М.: АСВ, 2008. – 184с.
2. Уткин В.С. Оценка надежности и несущей способности строительных конструкций на основе теории нечетких множеств и теории возможностей. Автореф. канд.техн.наук. – Вологда, 2002. – 24 с.
3. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 347с.
4. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании: Монография. – М.: АСВ, 1998. – 304с.

Рукопис подано до редакції 05.03.13

УДК 669.18-412: 620: 195.45

В.М. СЕРВЕТНИК, канд. техн. наук доц., А.Д. УЧИТЕЛЬ, д-р техн. наук проф.,
И.М. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук доц., Н.Г. РАДЬКО, ст. преподаватель,
В.В. БЕЛОУС, Н.А. ДАЦ, Р.Ю. БАРАБАШ
КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛЬНОГО СЛИТКА МЕТОДОМ ЕГО ВИБРАЦИИ ВО ВРЕМЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Проведены исследования по наложению вибрационного воздействия на слиток стали в период наполнения изложницы и последующей кристаллизации. Установлено улучшение химической и физической неоднородности слитка спокойной стали.

По итогам 2012 г. крупнейшим мировым производителем стали с показателем 716,5 млн т стал Китай. Также в десятку крупнейших производителей вошли Япония, США, Индия, Россия,

Южная Корея, Германия, Турция, Бразилия и Украина. Об этом сообщила Всемирная ассоциация производителей стали (World Steel Association). Несмотря на то, что Украина, которая произвела в 2012 г. 32,9 млн т продукции, вошла в десятку крупнейших мировых производителей стали, спад производства в 2012 г. составил 6,9 % против 2011 г.

На 2012 г. пришелся пик кризиса сталелитейной отрасли Евросоюза. Наблюдалось существенное снижение спроса на металлопродукцию, и в 2013 г. значительных улучшений показателей не прогнозируется. Снижение спроса в ЕС эксперты связывают со слабым тоном экономики еврозоны. Стремление европейских стран сократить дефицит бюджетов привело к замедлению экономического роста, что болезненно отразилось на спросе со стороны металлопотребляющих отраслей: автопрома, производства бытовых приборов и строительстве. А с конца лета ситуация усугубляется на фоне падения конъюнктуры мировых рынков. Стальной рынок ЕС упал до уровня 2009 г. и по прогнозам, на докризисный уровень он не вернется. В Европейской Ассоциации Сталепроизводителей Eurofer уже предложили Еврокомиссии и властям отдельных стран способствовать приведению металлургических мощностей в соответствие с реальным спросом. Президент Eurofer Вольфганг Эдер призвал европейских политиков разработать план сокращения мощностей в депрессивной сталелитейной промышленности ЕС. Возможно, существующие металлургические мощности в 210 млн т в год потребуются урезать на 25 %: текущий стальной спрос в ЕС составляет 160 млн т. Коэффициент использования мощностей в европейской стальной отрасли составил около 70 %, но в некоторых странах он близок к 50 %. По прогнозам компании “АрселорМиттал”, реальное потребление стали в Европе, вероятно, еще немного снизится в 2013 г.

В 2013 г. ожидается укрепление спроса на стальную продукцию за пределами Европы. Китай вступает в фазу циклического роста, и способен увеличить фактическое внутреннее потребление стали более чем на 3 %. В США рост фактического потребления стали прогнозируется ниже, чем в 2012 г. Но так как проблема “фискального обрыва” была разрешена, ожидается рост на фоне уверенного восстановления в секторе жилого строительства в США, покупок новых автомобилей и реконструкции разрушений, вызванных ураганом Сенди. Что касается других регионов, в частности, в Африке, в развивающихся странах Азии и Латинской Америки можно ожидать увеличения спроса также на 3 %.

В условиях мирового экономического кризиса, когда баланс спроса и предложения на рынке стали нарушен резко повышается конкуренция между производителями металлопродукции. Для того, чтобы успешно конкурировать металлургическим предприятиям в этих условиях необходимо прежде всего повышать качество и снижать себестоимость выпускаемой продукции. Причем снижать себестоимость металлопродукции необходимо не только за счет сокращения всевозможных затрат на производство, а прежде всего, за счет совершенствования и внедрения в производство новых технологических процессов и оборудования.

В настоящее время на предприятии “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) внедрена одна шестиручьевая машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) сечением квадрат 150 мм, на которой разливают до 18 % стали, что обеспечивает заготовкой первый проволочный и шестой мелкосортный станы. Все остальные прокатные станы работают на заготовке квадрат 80 мм, которую получают традиционным путем, через разливку стали в изложницы. Таким образом, на АМКР 82 % стали разливают в изложницы и поэтому повышение качества слитков является актуальной задачей.

Известно, что слиток имеет физическую и химическую неоднородность, которую по вредным примесям таким как сера, фосфор и газы можно снижать за счет более глубокого их удаления из расплава, что требует дополнительных расходов по переделу. Более дешевыми являются различные способы воздействия на процесс затвердевания отливок и слитков. Одним из таких способов, предложенным еще Д.К. Черновым [1], является встряхивание или вибрация. Однако до настоящего времени этот способ пока не нашел широкого применения при отливке промышленных слитков из-за сложности реализации при массовом производстве.

Влияние вибрации на процесс кристаллизации исследовали на слитках массой 8,5 т стали 35ГС, отливаемых в уширенные книзу сквозные изложницы с теплоизоляционными вкладышами и утеплением зеркала слитка зольносланцевой смесью. Вибрацию осуществляли с помощью механического вибратора дебалансного типа (рис. 1), который с помощью электромагнита крепится на платформе по центру сталеразливочной тележки с восемью изложницами.

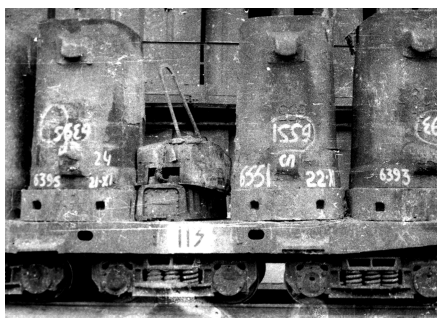


Рис. 1. Платформа сталеразливочной тележки с изложницами

Минимальное время виброобработки слитков составляло 30 мин, максимальное 66 мин. Первые 15-20 мин во время наполнения изложниц на опытной тележке вибрацию проводили в режиме чередования пауз с тем, чтобы не поломать мост на слитках без утепления, которые отливали на опытной тележке, платформу которой подвергали вибрации вместе с установленными на ней изложницами. Режим вибрации опытных слитков приведен в таблице. Интенсивность

колебаний W определяли как $W = A \omega^2$, где A - амплитуда колебаний, м; ω - угловая скорость, 1/с [2].

Из опытных и сравнительных слитков изготовляли продольные осевые темплеты и снимали серые отпечатки. Сопоставление макроструктуры слитка, подвергнутого вибрации, показало, что вибрация заметно ослабляет внеосевую Λ -образную и осевую V-образную ликвацию.

Эффект вибрационного воздействия возрастает с увеличением интенсивности колебаний, причем прежде всего с увеличением частоты при той же интенсивности. Практически устраняется осевая рыхлость в верхней части и заметно уменьшается центральная пористая подсадочная ликвационная зона в слитках с утеплением.

Таблица

Режим виброобработки опытных слитков				
Номер слитка по разливке	Частота колебаний, Гц	Амплитуда колебаний, м·10 ⁻³	Интенсивность колебаний, м/с ²	Продолжительность вибрации без пауз, мин
1; 10	0	0	0	0
2	7	4-5	7,7	37,5
3; 5-9	13	1,0-1,5	8,1	27,5
4	25	0,25	7,4	50,0

Примечание. Слитки 1, 10 – сравнительные, без вибрации, с утеплением верха слитка. Слиток 4 – опытный с вибрацией и утеплением верха слитка. Слиток 2, 3, 5-9 – опытные без утепления верха.

Химический анализ проб, отобранных на трех горизонтах слитка, подвергнутого вибрации, и сравнительного показал, что вибрация существенно уменьшает зональную ликвацию серы и углерода и в меньшей мере ослабляет ликвацию фосфора. Так, степень ликвации углерода в сравнительном слитке 1 по высоте слитка в осевой зоне равна 430 %, а серы 750 %. В подвергнутом вибрации слитке 2 степень ликвации углерода составила 170 %, серы 170 %.

Значительный интерес представляют результаты исследования дендритной структуры вибрированных слитков, которую выявляли на травленных темплетах, вырезанных по всей ширине продольной плиты на высоте 400 мм, 1100 мм (половина высоты слитка) и 1800 мм (непосредственно под усадочной раковинной). В сравнительном слитке наблюдается обычное изменение структуры по сечению слитка: узкая зона мелкозернистых зерен у поверхности и за ней довольно широкая зона столбчатых дендритов, затем зона крупных различно ориентированных дендритов, доходящая в верхней половине до оси слитка, в нижней половине эта зона сужается и за ней появляется зона мелких слабо разветвленных глобулярных дендритов, образующих конус осаждения. На среднем уровне ширина зоны глобулярных дендритов составляет всего 120 мм, а на нижнем горизонте 240 мм.



Рис. 2. Прерывистость роста столбчатых дендритов верхнего горизонта опытного слитка, вызванная виброобработкой, ×2,5

На верхнем горизонте в опытных слитках в дендритной зоне наблюдаются периодически повторяющиеся нарушения роста столбчатых дендритов, что связано с соблюдением чередования пауз вибрации всех слитков на тележке, необходимость которых была связана с кристаллизацией моста на слитках без утепления головной части с закрытой усадочной раковинной (рис. 2).

Рост столбчатых дендритов прекращается, наблюдается разориентированная зона кристаллов, затем снова формируются столбчатые дендриты. Менее ярко эти изменения выражены на среднем и нижнем горизонтах.

Ширина зоны разветвленных различно ориентированных дендритов сужается на всех горизонтах, а размеры дендритов в этой зоне уменьшаются. Примерно в два раза расширяется зона глобулярных дендритов, причем размеры их уменьшаются в 2-10 раз, особенно, вблизи оси слитка (рис. 3а,в). Такое изменение дендритной структуры, очевидно, и привело к отмеченному выше ослаблению зональной ликвации. Изучение зеренной структуры литой стали на тех же горизонтах показало ее связь с дендритной структурой; в местах максимального измельчения дендритов размеры зерен уменьшаются в 80-100 раз (рис. 3б,г).

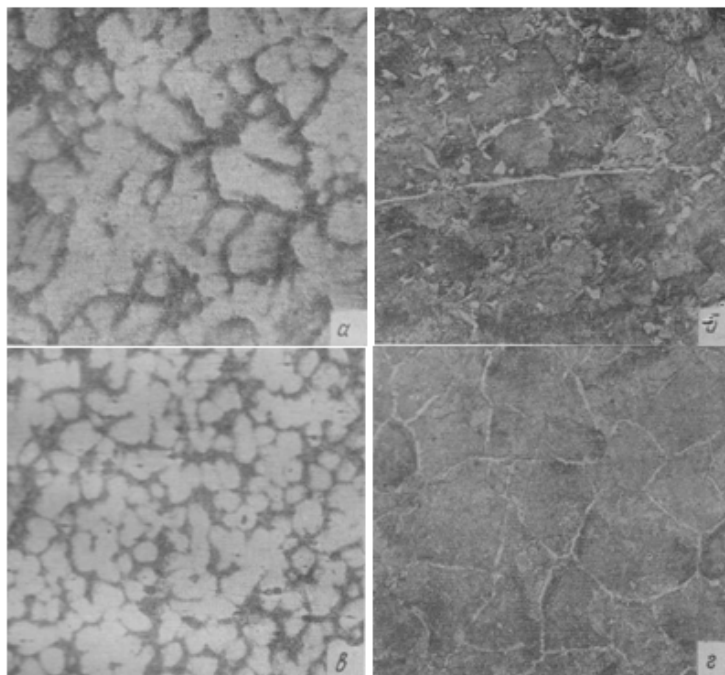


Рис. 3. Дендритная и зеренная структура верхнего горизонта сравнительного (а, б) и опытного (в, г) слитков: а, в – $\times 11$; б, г – $\times 20$

Таким образом, измельчение дендритной структуры связано с увеличением числа центров кристаллизации в затвердевающем расплаве под действием вибрации. Механизм воздействия вибрации объясняют по-разному.

Так Д.Л. Уолкер [3] считает, что вибрация вызывает в расплаве локальное увеличение давления.

Это повышает фактическое переохлаждение перед фронтом кристаллизации и приводит к увеличению скорости зарождения центров кристаллизации. Н.И. Хворинов [4] указывает, что вибрация приводит к интенсивному перемешиванию и обламыванию

вершин дендритов. Образующиеся обломки становятся новыми центрами кристаллизации.

Полученные экспериментальные данные о структуре вибрированных слитков позволяют следующим образом объяснить механизм влияния вибрации.

Вибрация в начальный момент кристаллизации (когда формируется столбчатая зона, а жидкость в сердцевине остается перегретой) приводит к обламыванию вершин столбчатых дендритов и на их основе образуются слои мелких различно ориентированных дендритов.

Когда перегрев жидкости вдали от столбчатой зоны снимается, вибрация облегчает зарождение центров кристаллизации во всей зоне даже слабо переохлажденной жидкости, начинается объемная кристаллизация.

Тепло кристаллизации поддерживает малое переохлаждение, дендриты растут медленно и поэтому слабо разветвляются.

В результате почти по всей высоте слитка образуется широкая зона мелких слабо разветвленных или даже глобулярных дендритов.

Значительная часть оксидов выделяется во время кристаллизации стали, поэтому медленный рост дендритов облегчает всплывание включений оксидной фазы, в результате опытные слитки оказываются в 2-3 раза менее загрязненными оксидными включениями, чем сравнительные.

Вывод. Механические свойства проката из слитков, подвергнутых вибрации, имеют повышенную пластичность стали из головной части слитка и стабилизацию прочностных и пластических свойств по длине раската, т.е. качество слитка выше.

Уменьшение центральной подсадочной пористости и снижение V-образной ликвации способствует снижению головной обреза и повышению выхода годного металла.

Список литературы

1. Тыжнов В.И. Кремневосстановительный мартеновский процесс. – М.: ОНТИ, 1936. – 243 с.
2. Улучшение качества слитка путем воздействия вибрации на его кристаллизацию / Я.Н. Малиночка, Л.А. Близнюкова, Ю.Н. Яковлев и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1978. – №9. – С. 45-48.
3. Уолкер Дж. Л. // Жидкие металлы и их затвердевание. – М.: Металлургиздат, 1962. – С. 355-371.
4. Хворинов Н.И. Кристаллизация и неоднородность стали. – М.: Машгиз, 1958. – 392 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.13

УДК 669. 053

З.З. ПАСТУШЕНКО, канд. техн. наук доц., Н.Г. РАДЬКО, ст. преподаватель
О.И. ДЗЮБА, канд. техн. наук, КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ

На основе термодинамического и кинетического анализа, а также лабораторных исследований разработана и проверена в полупромышленных условиях технология обесфосфоривания и обескремнивания марганецсодержащих продуктов для выплавки ферросплавов.

Общие запасы марганцевых руд в мире оцениваются в 19,5 млрд т. Основные запасы богатых руд сосредоточены в ЮАР. Запасы марганцевых руд в Украине составляют 15,5 % мировых и по большей части сосредоточены в Никопольском бассейне. Основная доля запасов (90 %) приходится на смешанные и карбонатные руды.

На нужды черной металлургии расходуется до 90 % добываемого марганцевого сырья. Фосфор в марганцевых концентратах, применяемый для выплавки ферросплавов, является наиболее вредной примесью. Для производства стандартных по фосфору ферросплавов ($P < 0,35 \%$) удельное содержание его в концентратах не должно превышать $(P/Mn) < 0,0035 \%$.

При механическом обогащении марганцевых руд фосфор на 90% переходит в концентраты, массовая доля его в концентратах из Никопольских руд составляет 0,16-0,22 %, удельное содержание фосфора составляет 0,0048 (в концентратах высших сортов) и 0,0085 (в низкосортных окисных и карбонатных концентратах).

Из таких концентратов по существующей технологии невозможно выплавить качественные (стандартные по фосфору) ферросплавы с $P < 0,35 \%$ за один передел.

В настоящее время для получения стандартных по фосфору марганцевых ферросплавов приходится выполнять дополнительную технологическую операцию - выплавку малофосфористого шлака (МФШ). Применение данной операции имеет ряд негативных сторон как с точки зрения технологии - высокое содержание кремнезема в шлаке, так и с точки зрения экономики - повышение себестоимости готовой продукции из-за использования двойного металлургического передела. Наконец, возникают значительные сложности с реализацией попутного металла из-за малого спроса на него в сталеплавильной отрасли.

Для получения качественных ферросплавов без выплавки МФШ ферросплавные заводы импортируют высококачественные природные малофосфористые концентраты ($P < 0,1 \%$) из ЮАР по цене до 150 у.е./т, Австралии или из Габона по цене 110-120 у.е./т.

Это вызывает необходимость применения химических методов обогащения взамен операции выплавки МФШ.

Кроме этого, в связи с использованием в ферросплавном производстве в основном первосортных окисных руд, они практически будут отработаны к 2015-2018 годам.

Одним из возможных источников сырья могут быть запасы шламов в шламохранилищах. Только для Ордженикидзевогo ГОКа это 123 млн.т (массовая доля в среднем Mn 12,02 %).

Для низкосортных окисных продуктов наиболее приемлемыми по технологическим, экономическим и экологическим соображениям являются щелочные методы обогащения, которые обеспечивают дефосфорацию и обескремнивания марганцеворудного сырья.

В связи различным минералогическим и химическим составом сырья, рабочие параметры процесса обесфосфоривания (температура, давление, состав шихты, массовая доля карбоната и