

2. Исследование физико-механических и трибологических свойств композиционных материалов для тяжело нагруженных узлов трения / А. С. Калининченко, В. И. Жорник, В. А. Верещагин, Н. Е. Гильнич // Порошковая металлургия. – 1999. – Вып. 22. – С. 24 – 29.

3. *Kalinichenko A. S., Kezik V. A., Bergmann H. W.* Structure of Surface Layers of Metal Matrix Composites // *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik.* – 1999. – Vol. 30. – P. 136 – 144.

4. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под общ. ред. Д. Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1982. – 207 с.

5. Литые композиционные материалы с макронеоднородной структурой / А. Г. Анисович, К. Э. Барановский, А. С. Калининченко и др. // Литье и металлургия. – 2001. – № 2. – С. 133 – 139.

6. *Смирязин А. П., Смирязина Н. А., Белова А. В.* Промышленные цветные металлы и сплавы. – М.: Металлургия, 1974. – 482 с.

УДК 621.746.047

И. В. ЗЕМСКОВ, канд. техн. наук, **Г. И. СТОЛЯРОВА**,
И. К. ФИЛАНОВИЧ, **К. В. КОРОЛЕВ** (БНТУ)

РЕЦИКЛИНГ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ 35Х23Н7С

Предприятия цементной промышленности используют высокотемпературные проходные печи с конвейерами, детали которых изготовлены из жаропрочной стали 35Х23Н7С. Детали должны иметь высокий уровень механических свойств и высокую стойкость при температурах 900 – 1000°С. Сталь 35Х23Н7С не стандартизована, выпускается в России в ограниченных объемах (по заказам предприятий).

Для замены вышедших из строя деталей конвейера производится закупка проката и изготовление из него деталей. Образующиеся отходы в виде изношенных деталей собираются и сдаются во «Вторчермет» или обмениваются на прокат аналогичной марки в соотношении 1:10. С учетом транспортных затрат такой способ приобретения материала является дорогостоящим. В значительной степени облегчить ситуацию с запчастями, изготовленными из стали такой марки, позволит комплексная технология ее рециклинга, разработанная в НИЛ прогрессивных технологических процессов производства отливок из черных и цветных сплавов кафедры «Металлургия литейных сплавов» БНТУ.

Сталь, легированная хромом, никелем и кремнием (табл. 1), относится к мартенситному классу, имеет высокие жаропрочность и жаростойкость в интервале 1000 – 1050°С.

Высокую жаростойкость стали придает совместное легирование хромом и кремнием, которые имеют большее сродство к кислороду, чем железо. В процессе окисления на поверхности стали образуются плотные оксиды Cr₂O₃, SiO₂, сквозь которые диффузия происходит с трудом. Такая

пленка оксидов затрудняет процесс дальнейшего окисления. Механические свойства стали в термообработанном состоянии приведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав

Марка стали	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
	не более				
35X23H7C	0,3 – 0,4	0,5 – 1,5	0,3 – 0,8	21,0 – 24,0	6,0 – 8,0

Таблица 2

Механические свойства (не менее) термообработанной стали

Марка стали	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %
35X23H7C	590	350	32

Технология рециклинга включает переплав отходов стали в индукционной плавильной печи и разливку выплавленного металла в формы для получения заготовок необходимой номенклатуры.

Плавку металла производили в индукционной высокочастотной тигельной печи с основной футеровкой, так как сталь 35X23H7C характеризуется повышенным содержанием хрома и никеля. Для раскисления использовали «белый шлак» – смесь извести, молотого кокса и ферросилиция, а перед разливкой вводили в ковш алюминий.

При отработке технологии определяли угар хрома и никеля при многократном переплаве. Выявлено, что при переплаве наблюдается значительный угар хрома, относительно небольшой – углерода, содержание никеля практически не изменяется. Поэтому требуется подшихтовка в процессе плавки для корректировки содержания хрома и углерода.

Для разливки металла наиболее рационально использовать метод вертикального непрерывного литья, позволяющий получать длинномерные заготовки и обеспечивающий формирование плотной мелкозернистой структуры. Непрерывнолитые заготовки по свойствам не уступают прокату.

Тепловые и технологические параметры определяли по результатам опытных разливок стали в кристаллизатор диаметром 65 мм на лабораторной установке непрерывного литья. К основным параметрам отнесены: температура заливки, скорость литья, время движения и остановки, шаг протяжки.

Диапазон рекомендуемой температуры заливки небольшой: заливка с недостаточным перегревом металла может привести к перемерзанию в заливочной чаше, а высокий перегрев увеличивает газонасыщенность, ухудшая качество металла. Рекомендуемая на основании проведенных исследований температура заливки стали 35X23H7C составляет 1570 – 1600°C.

Скорость литья при прочих равных условиях определяет толщину затвердевшей корки отливки на выходе из кристаллизатора. Чем больше скорость литья, тем меньше время пребывания отливки в кристаллизаторе и толщина затвердевшей корки. Скорость литья оказывает заметное влияние на стабильность процесса разливки: при увеличении скорости уменьшается прочность корки, учащаются обрывы и прорывы под действием металлостатического напора жидкой сердцевины. На рис. 1 выделена область (0,4 – 0,8 м/мин) рекомендуемых скоростей для исследованных условий, при которых процесс литья протекает стабильно, без обрывов и прорывов.

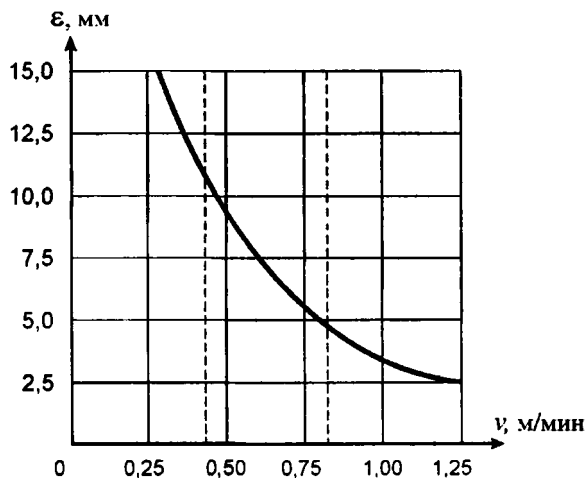


Рис. 1. Толщина корки на выходе из кристаллизатора в зависимости от скорости литья

Циклический режим извлечения отливаемой заготовки, который использован при разливке, характеризуется шагом протяжки. Шаг протяжки определяется скоростью литья, поэтому его влияние на толщину затвердевающей корки аналогично влиянию скорости литья. При увеличении шага возрастают площадь контакта с рабочей поверхностью кристаллизатора

и усилие сдвига, которое должна выдержать корка при срыве в момент движения. Чем меньше шаг, тем меньше это усилие и стабильнее процесс. Выбор оптимального шага связан с временем остановки, которое определяет толщину и прочность затвердевшей корки. Рекомендуемые толщина шага и время остановки, обеспечивающие стабильность процесса, находятся соответственно в пределах 50 – 60 мм и 2,3 – 2,7 с. Время движения не играет такой существенной роли, как время остановки. При его определении можно пользоваться обычным соотношением $t_{дв} = (0,5 - 1,0) t_{ост}$.

Технологические параметры и режимы процесса разливки на установке вертикального непрерывного литья представлены в табл. 3.

По разработанной технологии получены непрерывнолитые заготовки наружным диаметром 65 мм и длиной 1200 мм. Анализ механических свойств металла заготовок подтвердил их полное соответствие требованиям технических условий к данному классу сталей.

Технологические параметры и режимы процесса

Диаметр заготовки, мм	Режим извлечения	Температура, °С			Шаг, мм	Время цикла, с		Средняя скорость литья, м/мин
		металла в печи	металла в ковше	воды		движения	остановки	
65	Циклический	1620 – 1650	1580 – 1600	Не выше 50	50 – 60	3,0	2,5	0,55 – 0,60

Из выработанных заготовок были изготовлены детали конвейера высокотемпературных проходных печей. Анализ работы деталей показал их удовлетворительную жаростойкость в интервале температур 900 – 1000°С.

Выполненные исследования подтвердили экономическую целесообразность рециклинга стали 35Х23Н7С, так как его проведение позволяет сократить объем поставок из-за рубежа на 70 – 75%, причем себестоимость полученного материала почти в 4 раза ниже затрат на его приобретение.