

бидов из мартенсита, в результате твердость и износостойкость повышаются. Трехкратный отпуск при 560 °С позволяет получить наплавленную поверхность с максимальной твердостью, повышенной прочностью, удовлетворительной вязкостью. Структура при этом представляет собой легированный отпущенный мартенсит, дисперсионные вторичные карбиды и интерметаллиды.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в процессе ЭМН с использованием порошков быстрорежущих сталей формируется покрытие толщиной до 0,5 мм. Покрытие состоит из зон: наплавленного металла, диффузионной и термического влияния.

2. Выявлено, что покрытие имеет неравновесную структуру, формирующуюся на основе пересыщенных твердых растворов составляющих порошков, а также карбидов.

3. Показано, ЭМН с ППД приводит к уменьшению количества остаточного аустенита в покрытии, увеличению твердости после отпуска.

4. Использование трехкратного отпуска после ЭМН приводит к получению равновесной структуры в наплавленном слое, состоящей из отпущенного легированного мартенсита, дисперсных карбидов и интерметаллидов.

5. Показано, что изменение зернистости и химического состава порошков быстрорежущих сталей и использование термической обработки позволяют управлять процессом формирования структуры и эксплуатационными свойствами покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мрочек Ж. А., Кожуро Л. М., Филонов И. П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн.: УП «Технопринт», 2000. – 268 с.
2. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Ракомсин А. П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле / Под ред. П. А. Витязя. – Мн.: Парадокс, 2000. – 201 с.
4. Геллер Ю. М. Инструментальные стали. – М.: Metallurgy, 1986. – 932 с.
5. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Metallurgy, 1984. – 360 с.

УДК 621.74.047

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ С ОТКРЫТЫМ И ЗАКРЫТЫМ УРОВНЯМИ

Канд. техн. наук ДЕМЧЕНКО Е. Б.

Белорусский национальный технический университет

При исследовании процессов вертикального непрерывного литья особое внимание уделяется правильному выбору режима движения отливки, который во многом определяет стабильность и качество получаемых заготовок. При этом имеется ввиду режим относительного перемещения отливки и кристаллизатора.

Из [1, 2] известно об использовании различных режимов движения отливки и кристаллизатора при непрерывном литье, разнообразие которых основано на варьировании скорости литья, последовательности и длительности времени движения и остановки. Параметры режи-

ма движения зависят от конфигурации, массы, размеров и теплофизических свойств материала отливки, тепловых и технологических особенностей процесса литья. Исходя из сочетания возможных вариантов движений отливки и кристаллизатора относительно друг друга, существуют, по крайней мере, четыре режима движения (рис. 1), применение которых определяется конкретной схемой процесса непрерывного литья:

- однократный режим – равномерное с постоянной скоростью движение отливки относительно неподвижного кристаллизатора (рис. 1а);

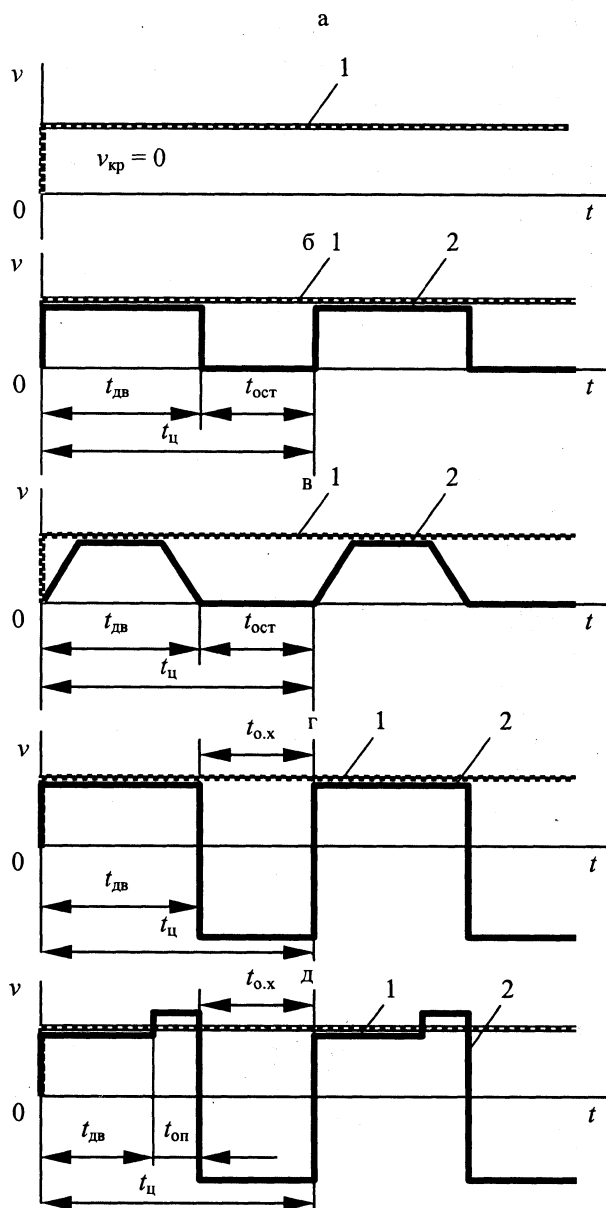


Рис. 1. Режимы движения при непрерывном литье:
1 – отливки; 2 – кристаллизатора

- двухтактный режим – движение отливки с постоянной (рис. 1б) или переменной (рис. 1в) скоростью относительно неподвижного кристаллизатора с остановкой;
- двухтактный комбинированный режим – равномерное движение отливки относительно кристаллизатора, который перемещается вдоль своей оси со скоростью отливки (скорость отливки относительно кристаллизатора равна нулю) и возвращается в исходное положение (рис. 1г);
- трехтактный режим движения – равномерное движение отливки относительно кри-

сталлизатора, который перемещается вдоль своей оси со скоростью отливки, затем опережает ее и возвращается в исходное положение (рис. 1д).

Из приведенных режимов движения чаще всего в различных схемах непрерывного литья применяют двухтактный и двухтактный комбинированный режимы. Однотактный режим применяется реже и только для литья крупных массивных отливок при сравнительно небольших скоростях вытяжки. Трехтактный режим применяется крайне редко, так как на практике трудно добиться полного согласования скоростей перемещения кристаллизатора и отливки. Режимы с возвратно-поступательным перемещением кристаллизатора применяются в основном для литья стальных слитков больших размеров и массы, так как такое перемещение снижает усилия сцепления начальной корки отливки с поверхностью кристаллизатора и повышает стабильность процесса литья.

Следует отметить, что двух- и трехтактный режимы могут быть осуществлены и при неподвижном кристаллизаторе. В этом случае отливку перемещают по циклическому режиму «движение – остановка» (двухтактный режим) либо «движение – обратный ход – остановка», где после движения отливки следует короткий обратный ход ее в направлении к кристаллизатору, а затем – остановка (трехтактный режим).

Рассмотрим режимы относительно движения отливки и кристаллизатора, применяемые при непрерывном литье с открытым [3] и закрытым уровнями [4].

При непрерывном литье с открытым уровнем металл непрерывно поступает в кристаллизатор. Мениск расплава постоянно перемещается в нем относительно затвердевающей отливки на величину Δh со средней скоростью литья. В случае равномерного движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора (однотактный режим) положение мениска будет зафиксировано на определенном уровне в зоне интенсивного теплоотвода ($\Delta h = 0$). Так как формирование начальной корки отливки начинается на мениске металла, корка, покрытая пленкой окислов, в процессе вытяжки стягивается в кристаллизатор и препятствует жидкому металлу заполнять неровности на поверхности кристаллизатора. Эффект усиливает на-

личие смазки в кристаллизаторе, при сгорании которой выделяющиеся газы образуют зазор. Кроме того, процесс кристаллизации сопровождается усадочными явлениями, что также препятствует прочному сцеплению корки. Поэтому незначительная величина сил сцепления начальной корки с поверхностью кристаллизатора обеспечивает возможность извлечения отливки в равномерном непрерывном режиме при малых скоростях литья (например, для чугуна – 0,2...0,3 м/мин).

Увеличение скорости литья сокращает время формирования отливки в кристаллизаторе, что снижает толщину и прочность корки и может привести к прорывам металла на выходе из кристаллизатора и прекращению процесса литья. Это вызывает необходимость перехода на циклическое движение отливки относительно кристаллизатора по двух- или трехтактному режимам.

Поскольку при непрерывном литье с открытым уровнем возможны любые относительные перемещения отливки и кристаллизатора, эти режимы движения могут быть использованы без каких-либо ограничений.

Однако многочисленные эксперименты и опытно-промышленные испытания [5...7] показали, что наиболее рациональным для условий вертикального непрерывного литья заготовок машино- и станкостроения небольших размеров и массы является двухтактный циклический режим движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора, который обеспечивает высокую скорость литья и стабильность процесса.

При непрерывном литье с закрытым уровнем расположение уровня металла, зоны формирования начальной корки отливки, а также иной механизм ее формирования накладывают определенные ограничения на выбор режимов движения.

Первое из них — невозможность относительного перемещения кристаллизатора, связанного с промежуточной емкостью для жидкого металла. Очевидно, что в противном случае пришлось бы вместе с кристаллизатором перемещать металлоприемник или литниковую систему, что значительно усложнило бы конструкцию установки непрерывного литья и затруднило бы подачу металла. Поэтому целесообраз-

нее использовать неподвижные кристаллизаторы при циклическом извлечении отливки.

Второе ограничение заключается в невозможности применения равномерного движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора. Такое движение характеризуется низкими скоростями литья, которые по ряду причин (затвердевание металла на торце графитовой втулки или в литниковой системе, ухудшение внутренней поверхности кристаллизатора и т. д.) не могут быть применены при непрерывном литье с закрытым уровнем. Поэтому процесс непрерывного литья с закрытым уровнем необходимо проводить при циклическом характере движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора. Значения параметров режима ($t_{\text{дв}}$, $t_{\text{ост}}$, v) должны быть оптимальными и достаточными для образования прочной корки, способной противостоять усилиям, возникающим при ее движении в кристаллизаторе. Экспериментальными и опытными данными установлено [5, 7], что наиболее рациональным для условий вертикального непрерывного литья является двухтактный циклический режим движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора.

Интересен анализ факторов, позволяющих достаточно точно определить параметры режима движения отливки: шаг отливки за один цикл Δh , время остановки $t_{\text{ост}}$ и время движения $t_{\text{дв}}$ при общем времени цикла $t_{\text{ц}}$, выбор которых осуществляется из условий стабильности процесса непрерывного литья.

Формирование начальной корки происходит в основном за время $t_{\text{ост}}$, в течение которого отливка неподвижна относительно кристаллизатора. При выборе $t_{\text{ост}}$ должно учитываться влияние следующих факторов. Длина начальной корки Δh , или ход отливки за один цикл движения, определяет общую площадь контакта начальной корки с кристаллизатором и усилие срыва начальной корки. Чем больше Δh , тем больше усилие срыва и тем больше должно быть время $t_{\text{ост}}$, необходимое для формирования более прочной корки. При $\Delta h \rightarrow 0$ значительно уменьшается $t_{\text{ост}}$ и режим движения приближается к непрерывному.

На усилие срыва начальной корки и время $t_{\text{ост}}$ существенное влияние оказывают интенсивность охлаждения, температура перегрева

жидкого металла, материал отливки и кристаллизатора и их теплофизические свойства, качество рабочей поверхности кристаллизатора и другие факторы. Так, чем выше интенсивность охлаждения, тем больше толщина корки и ниже ее средняя по сечению температура, следовательно, время $t_{\text{ост}}$ будет меньше. Температура перегрева жидкого металла оказывает особенно сильное влияние в начальный момент осуществления процесса и при доливках свежих порций, пока происходит стабилизация температурного режима жидкого металла: более высокий уровень перегрева ведет к увеличению минимально допустимого времени $t_{\text{ост}}$.

Следует отметить, что результаты анализа влияния различных факторов на выбор времени $t_{\text{ост}}$ носят качественный характер. Количественное определение этих факторов сталкивается с трудностями, такими как отсутствие надежных сведений о прочностных характеристиках металлов вблизи температуры кристаллизации и сложность расчета сил трения между поверхностью кристаллизатора и начальной коркой. Поэтому при определении оптимального времени остановки $t_{\text{ост}}$ целесообразно исходить из экспериментальных данных.

Менее существенную роль, чем $t_{\text{ост}}$, играет время перемещения отливки относительно кристаллизатора в пределах одного цикла движения $t_{\text{дв}}$. Здесь необходимо учитывать возможность создания плавного изменения истинной скорости движения отливки, чтобы предотвратить возникновение больших динамических усилий в момент срыва начальной корки. Скорость движения в начальный момент должна плавно возрасть до максимального значения и снижаться до нуля (рис. 2а–в).

Для определения $t_{\text{дв}}$ необходимо учитывать его связь с величиной хода отливки за один цикл Δh . Если $t_{\text{дв}} = \text{const}$, то увеличение Δh приведет к существенному росту ускорений и соответственно динамических усилий при срыве начальной корки. Обычно $t_{\text{дв}}$ составляет половину или треть полного времени цикла

$$t_{\text{дв}} = (0,5 \dots 1,0) t_{\text{ост}}.$$

Частота циклов находится как величина, обратная времени полного цикла вытяжки:

$$f = t_{\text{ц}}^{-1}.$$

При использовании в качестве тянущего механизма валковой клетки среднюю скорость литья определяют из выражения

$$v = \frac{t_{\text{дв}}}{t_{\text{ост}} + t_{\text{дв}}} v',$$

где v' – окружная скорость тянущих валков или фактическая скорость движения отливки за время $t_{\text{дв}}$.

Непрерывное литье со стержнем как с открытым, так и с закрытым уровнем, также подвержено возможности прорывов металла на выходе отливки из кристаллизатора. Поэтому и в этом случае стабильность процесса определяется правильным выбором соотношения длины кристаллизатора l_k и скорости литья v .

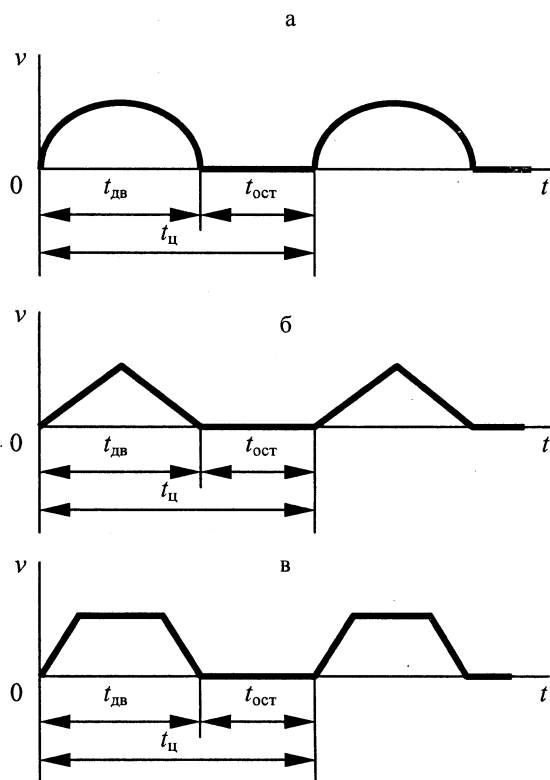


Рис. 2. Режимы движения отливки при непрерывном литье: а – плавное; б – прямолинейное равноускоренное; в – прямолинейное циклическое

Применение вторичного водо-воздушного охлаждения для этих процессов резко сокращает количество прорывов жидкого металла. Это позволяет увеличить скорость литья и повысить стабильность процесса.

Рекомендуемые параметры режимов движения отливки относительно неподвижного кристаллизатора при непрерывном литье с открытым и закрытым уровнями для получения заго-

товок простой конфигурации из различных сплавов, определенные опытным и экспериментальным путем, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры режимов движения отливки при непрерывном литье

Условия литья, материал отливки		Параметры				
		$v \times 60^{-1}$, м/с	$\Delta h \times 10^{-3}$, м	$t_{дв}$, с	$t_{ост}$, с	$v' \times 60^{-1}$, м/с
Открытый уровень						
Вертикальное литье, медный кристаллизатор	Чугун СЧ20, Ø104×60	0,30...0,65	30...55	0,6...1,5	2...4	0,35...0,65
	Сталь 12Х18Н10Т, Ø124	0,25...0,40	30...40	0,5...1,0	2...5	0,30...0,40
	Бронза БрС30, Ø80	0,15...0,35	25...40	1,0...2,0	4...8	0,20...0,35
Закрытый уровень						
Вертикальное литье, графитовый кристаллизатор	Чугун СЧ20, Ø104×60	0,20...0,50	30...40	0,6...2,5	2...4	0,30...0,50
	Сталь 12Х18Н10Т, Ø124	0,20...0,40	30...40	0,5...1,0	2...6	0,25...0,40
	Бронза БрС30, Ø80	0,15...0,30	15...25	1,0...2,0	12...20	0,15...0,30

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойченко М. С., Рутес В. С., Фульмахт В. В. Непрерывная разливка стали. – М.: Металлургиздат, 1961. – 301 с.
2. Тепловые режимы затвердевания чугуна при горизонтальном непрерывном литье / В. В. Соболев, В. С. Лернер, П. М. Трефилов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1989. – № 5. – С. 126–130.
3. А. с. 931282 СССР. Установка непрерывного литья / Е. Б. Демченко, В. А. Гринберг, А. Н. Крутилин и др. // Бюл. изобр. – 1982. – № 20.
4. А. с. 1007276 СССР. Способ непрерывного литья полых мерных заготовок / В. И. Тутов, В. А. Гринберг, Г. И. Столярова и др. // Зарег. 23.ХІ.82. Не публикуется.

5. Особенности технологии вертикального непрерывного литья заготовок / В. А. Гринберг, Е. Б. Демченко, Г. И. Столярова и др. // Усовершенствование технологий горизонтального непрерывного литья. – Каунас, 1989. – С. 18–20.

6. Технологический процесс непрерывного литья с использованием разрушаемых стержней / В. И. Тутов, Е. Б. Демченко, А. Н. Крутилин, И. К. Филанович // Пути повышения качества и экономичности литейных процессов. – Одесса, 1989. – С. 84–85.

7. Повышение качества непрерывно-литых заготовок / Е. Б. Демченко, А. Н. Крутилин, Г. И. Столярова, И. К. Филанович // Промышленные строительные материалы. – М., 1991. – Вып. 4. – С. 10–13.