

УДК 621.74.002

©Хорошилов О.Н.

## УСЛОВИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ, ПОВЫШАЮЩЕГО КАЧЕСТВО ЗАГОТОВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

### 1. Постановка проблемы

Современная МНЛЗ представляет собой сложный многомашинный агрегат с большим числом автоматизированных электроприводов, систем автоматического регулирования и контроля, которые обеспечивают не только геометрические размеры заготовок, но и существенно влияют на качества металла по всему объему заготовки [1].

Высокая надежность систем автоматического регулирования и точность отработки электроприводами заданных законов движения особенно важны при производстве на МНЛЗ заготовок из цветных металлов и сплавов [2].

В общем случае качество литых заготовок принято оценивать некоторой совокупностью физико-механических характеристик. Однако при оценке качества непрерывно-литой заготовки следует дополнительно учитывать параметр повреждаемости ее вязкого участка, формируемого в кристаллизаторе МНЛЗ.

Для определения параметра повреждаемости непрерывно-литой заготовки был разработан программный комплекс SCC, позволяющий определять этот параметр при различных режимах движения заготовки [3, 4].

Для МНЛЗ можно определить два основных режима движения заготовки: поступательное и реверсивное движение заготовки, которые происходят во время преодоления силы трения покоя.

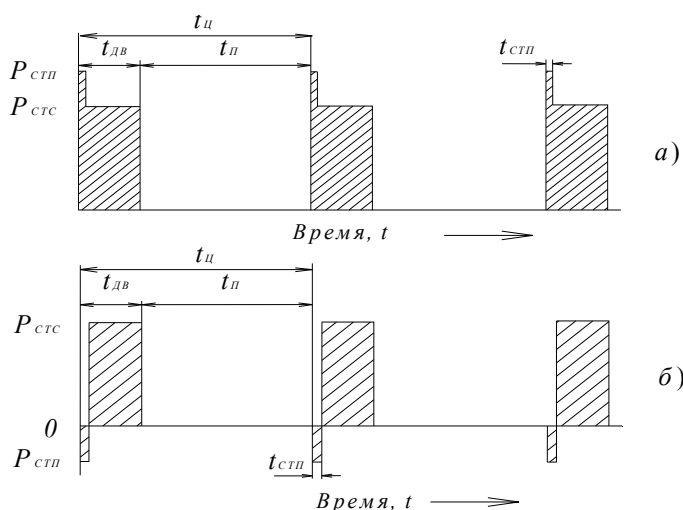
### 2. Цель статьи

Целью исследования является определение параметров технологического процесса непрерывного литья с помощью математической модели, основанной на теории континуальной повреждаемости.

### 3. Основной материал

При анализе первого режима движения заготовки до настоящего времени не учитывалось дополнительное усилие  $P_{СП}$ , необходимое для преодоления силы трения покоя (СП) между заготовкой и графитовой втулкой кристаллизатора (см. рис. 1, а).

В реальных условиях это усилие может достигать 1,25-1,45 от усилия  $P_{СТС}$ , необходимого на преодоление силы трения скольжения (СТС) между заготовкой и графитовой втулкой кристаллизатора (см. рис. 1, а). Следует отметить, что усилие, необходимое на преодоление СП, вызывает растяжение вязкого участка непрерывно-литой заготовки, что приводит к повышению параметра ее повреждаемости, а стало быть – к снижению качества.



**Рис. 1** – Циклограммы усилия в непрерывно-литой заготовке при различных режимах ее движения

Проведенные исследования [5] показали, что для снижения параметра повреждаемости во время преодоления СТП наиболее целесообразно использовать второй режим с реверсивным движением заготовки во время преодоления силы трения покоя движением заготовки. Усилие, необходимое для преодоления СТП при обратном движении заготовки так же достигает 1,25-1,45 от усилия  $P_{СТС}$  (см. рис. 1, б). Однако это усилие приводит к сжатию вязкого участка заготовки, что способствует его

уплотнению и повышению качества.

Исходные данные для анализа параметра повреждаемости непрерывно-литой заготовки с помощью программного комплекса SCC сведены в таблицы 1,2.

**Таблица 1** – Исходные данные для расчета параметра повреждаемости при поступательном движении заготовки во время преодоления силы трения покоя

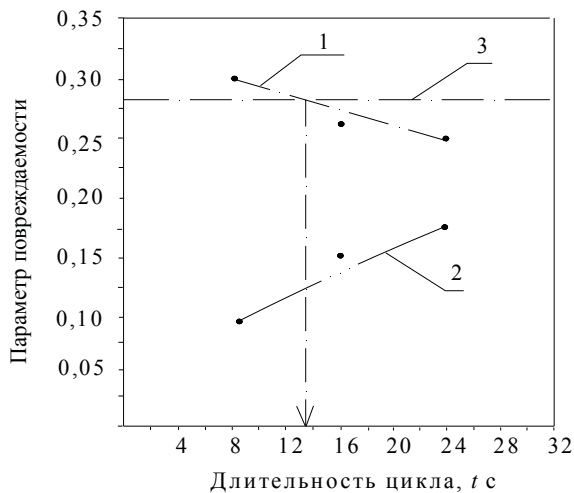
Длительность интервала преодоления СТП, $\tau_{СП}$ , с	Усилие в заготовке при прямом движении на интервале преодоления СТП $P_{СП}$ , МПа	Длительность цикла $\tau_{ц}$ , с	Длительность движения, $\tau_{дв}$ , с	Длительность паузы, $\tau_{п}$ , с	Усилие в заготовке при прямом движении, $P_{СТС}$ , МПа
0,5	0,5	8	2	6	0,4
		16	4	12	
		24	6	18	

**Таблица 2** – Исходные данные для расчета параметра повреждаемости при реверсивном движении заготовки во время преодоления силы трения покоя

Длительность интервала преодоления СТП, при обратном движении $\tau_{СП}$ , с	Усилие в заготовке при обратном движении на интервале преодоления СТП $P_{СП}$ , МПа	Длительность цикла $\tau_{ц}$ , с	Длительность движения, $\tau_{дв}$ , с	Длительность паузы, $\tau_{п}$ , с	Усилие в заготовке при прямом движении, $P_{СТС}$ , МПа
0,5	- 0,5	8	2	6	0,4
		16	4	12	
		24	6	18	

На основе расчетов [6], выполненных по исходным данным (табл. 1-2), были получены зависимости параметра повреждаемости заготовки от длительности цикла работы МНЛЗ для рассмотренных случаев (рис. 2), где кривая 1 – параметр повреждаемости заготовки при поступательном ее движении и учете усилий на преодоление СТП (рис. 1, а); кривая 2 – повреждаемость заготовки при возвратно-поступательном ее движении и учете усилий на преодоление СТП (рис. 1, б); прямая 3 – предельное значение повреждаемости заготовки.

Кривая 1 на рис. 2 показывает, что учет усилий на преодоление СТП при поступательном движении заготовки позволяет зафиксировать повышение параметра повреждаемости при уменьшении длительности цикла работы МНЛЗ (параметр повреждаемости возрастает в 1,2 раза при уменьшении длительности цикла с 24 до 8 с).



**Рис. 2** – Влияние длительности цикла работы МНЛЗ на параметр повреждаемости заготовки

При возвратно-поступательном движении заготовки учет усилий на преодоление СТП при расчетах показал, что параметр повреждаемости снижается (рис. 2, кривая 2) при уменьшении длительности цикла работы машины (параметр повреждаемости снижается в 1,75 раза при уменьшении длительности цикла с 24 до 8 с).

Для обеспечения реверсивного движения заготовки во время преодоления силы трения покоя был разработан автоматизированный безредукторный электропривод на базе двигателя с катящимся ротором (ДКР) (см. рис. 3, а) [7]. Система управления электроприводом реализована с

использованием вычислительной техники. В персональном компьютере программа формирует замкнутое циклическое управление ДКР с несколькими интервалами на каждом цикле движения заготовки (рис. 3, б). На каждом интервале задаются параметры технологического процесса: конечное значение скорости и направление движения заготовки (в относительных единицах), длительность интервала, в течение которого двигатель должен выйти на заданную скорость. Еще одним параметром задания является количество циклов переходного интервала, т.е. то количество циклов, за которое параметры технологического процесса выводятся на заданные значения. На рис. 3, б пунктирной линией показана циклограмма движения заготовки при заданных значениях параметров технологического процесса, а сплошной линией – на одном из циклов переходного интервала. Сформированные в программе режимы движения можно сохранять в файл для последующего использования.

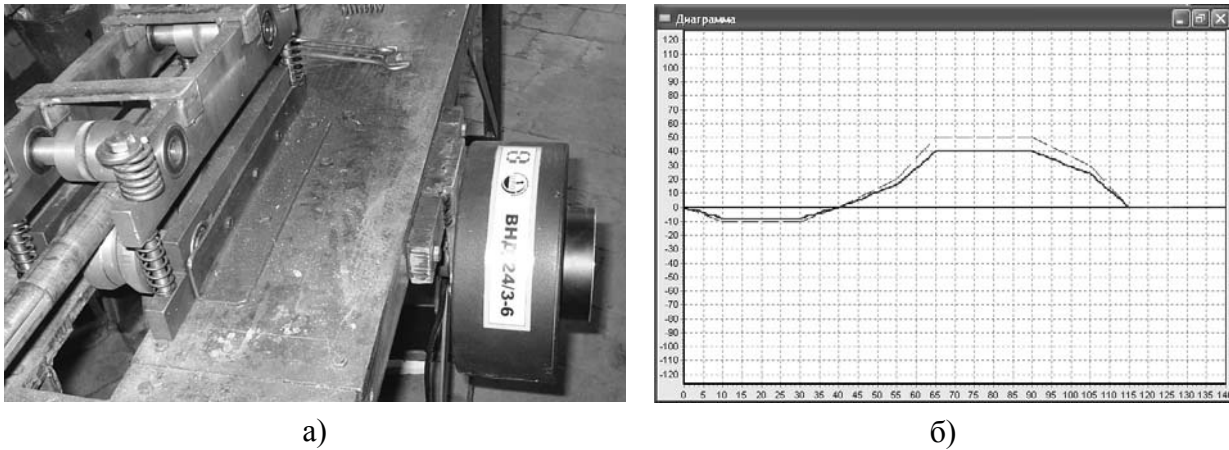


Рис. 3 – Тянущая клеть МНЛЗ с безредукторным электроприводом на базе ДКР (а) и экран монитора системы управления электроприводом (б)

### Выводы

Таким образом, в ходе проведения исследований установлено следующее.

1. Снижение параметра повреждаемости заготовки осуществляется за счет одновременного выполнения двух условий: выполнения реверсивного движения заготовки во время преодоления силы трения покоя и уменьшения длительности цикла работы машины непрерывного литья.
2. Определено, что для непрерывного литья медных сплавов длительность цикла работы МНЛЗ не целесообразно уменьшать менее 8,0 с, что соответствует частоте движения заготовки, равной 7,5 мин<sup>-1</sup>.
3. Для поддержания заданных технологических параметров процесса непрерывного литья была разработана система автоматизированного регулирования движением заготовки.

### Список использованных источников:

1. Горизонтальное непрерывное литье цветных металлов и сплавов / О. А. Шатагин, В. Т. Сладкоштеев, М. А. Вартазаров [и др.]. – М.: Металлургия, 1974. – 175 с.
2. Исследования влияния технологических параметров на качество заготовок / В.Н. Бредихин, Ф.П. Изюмский, Е.А. Суходольская [и др.] // Цветные металлы, – 1976. – № 12. – С. 51–53.
3. Бреславский Д. Программные средства для конечноэлементного моделирования двумерных задач теории ползучести / Д. Бреславский, Ю. Корытко, П. Лысак // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 38. – С. 24–29.
4. Breslavsky D. Software and numerical simulation of cyclic 2D creep-damage problems / D. Breslavsky, A. Chuprynin, Yu. Korytko, O. Tatarinova // Труды 2й Международной конференции по нелинейной динамике / Нац. техн. ун-т «ХПИ». – Харьков, 2007. – С. 45–48.
5. Анализ повреждаемости бронзовых заготовок, получаемых в процессе непрерывного литья / Д. В. Бреславский, Ю. Н. Корытко, О. А. Татаринова, О. Н. Хорошилов // Механіка та машинобудування. – 2008. – № 1. – С. 234–243.

6. Бреславский Д.В. Управление качеством непрерывно-литых заготовок [Электронный ресурс] / Д. В. Бреславский, О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко // Вісник ДДМА. – Краматорськ, 2010. – № 3 (20). – С. 41–46. – Режим доступа к журн: <http://www.dgma.donetsk.ua/publish/vesnik/>.

7. Горизонтальная машина непрерывного литья с автоматизированным безредукторным электроприводом на базе двигателя с катящимся ротором / О. Н. Хорошилов, А. В. Кипенский, В. В. Лысенко [и др.] // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сер. Электротехника, электроника и электропривод : сб. науч. тр.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 30. – С. 175–178.

*Хорошилов О.Н.* «Условие реализации технологического процесса непрерывного литья, повышающего качество заготовок из медных сплавов».

В этой статье предлагается метод повышения качества непрерывного литья. Этот метод заключается в изменении направления движения заготовки во время преодоления силы трения покоя с поступательного на реверсивное и уменьшение длительности цикла работы машины непрерывного литья.

**Ключевые слова:** непрерывное литье, заготовка, повреждаемость, качество, медные сплавы.

*Хорошилов О.М.* «Умова реалізації технологічного процесу неперервного лиття, що дозволяє підвищити якість заготовок з мідних сплавів».

В цій статті запропоновано метод, що дозволяє поліпшити якість неперервного лиття. Метод, що розроблено в статті, полягає в зміні напрямлення руху заготовки під час подолання сили тертя спокою з поступального на реверсивний та в зменшенні тривалості циклу роботи машини неперервного лиття.

**Ключеві слова:** неперервне лиття, заготовка, пошкоджуваність, якість, мідні сплави.

*Khoroshilov O.N.* “The conditions of realization of continuous casting technological process, increasing of quality billet from copper alloys”.

In this article the method of increasing of quality continuous casting is offered. This method is contained in alteration of motion direction of billet in time of getting over static friction force from translational to reversal and decreasing of cycle work protraction for continuous casting machines.

**Key words:** continuous casting, billet, damage, quality, copper alloys.

Стаття надійшла до редакції 30 вересня 2013 р.