

тельно, обедненной кислородом. При этом уровень жидкой стали в проточной камере поднимается над свободной поверхностью металла в промежуточном ковше на 500–600 мм и, как показали расчеты с использованием приведенных выше формул, в несколько раз уменьшается площадь поверхности и длительность контакта свободной струи с окружающей атмосферой, что также способствует снижению интенсивности вторичного окисления стали при ее перетекании из разливочного ковша в промежуточный. Конструкция защитного устройства защищена патентом Украины [7].

В результате проведенных исследований разработана конструкция и выбраны оптимальные геометрические параметры устройства для защиты стали от вторичного окисления при непрерывной разливке на участке «разливочный ковш – промежуточный ковш» без применения дорогостоящего аргона.

Список литературы

1. Теория и практика непрерывного литья заготовок / А.Н.Смирнов, А.Я.Глазков, В.Л.Пилушенко и др. — Донецк: ДонГТУ, ООО «Лебедь», 2000. — 371 с.
2. Дегазация стали при непрерывной разливке / В.В.Лисицкий, В.С.Лучкин, В.В.Кулаков и др. // Сталь, 1993. — № 4. — С. 28–30.
3. Лисицкий В.В., Лучкин В.С. Опробование вихревого устройства для защиты и дегазации стали при непрерывной разливке // Сталь, 1997. — № 10. — С. 25–26.
4. Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали. — К.: Техніка, 1998. — 136 с.
5. Механика жидкостей и газа / С.И.Аверин, А.Н.Минаев, В.С.Швыдкий и др. — М.: Metallургия, 1987. — 304 с.
6. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 352 с.
7. Патент 23255 Украина, МКИ В 22 7/ 00. Устройство для непрерывной разливки стали / С.П.Еронько, В.Л.Пилушенко, А.Н.Рыженков и др. Оpubл. 31.08.98. Бюл. № 4.

© Еронько С.П., Пилушенко В.Л., Иваницкий Е.С., 2001

НИЖНИК А.В. (ДОНГТУ)

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ГИДРОЦИЛИНДР-ЭНЕРГОАККУМУЛЯТОР В ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МУФТАХ ПРИВодОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

Предложены новые конструкции предохранительно-демпфирующих муфт повышенной податливости, снабженные системами гидроцилиндр-энергоаккумулятор, осуществляющие комплексную защиту приводов металлургических машин от перегрузки и ударно-импульсного воздействия нагрузки. Исследована и аналитически доказана возможность использования систем гидроцилиндр-энергоаккумулятор в предохранительных муфтах приводов металлургических машин.

Продукция заводов черной металлургии является основным продуктом экспорта Украины. Мировой рынок предъявляет жесткие требования к качеству поставляемого проката. В связи с этим основной задачей отечественного производителя металлопроката является повышение качества продукции при минимальных производственных затратах. Механическое оборудование большинства металлургических заводов Украины устарело как физически, так и морально. Несмотря на это, многие металлургические предприятия не могут найти достаточно свободных средств на техническое перевооружение. Например, убытки от поломок оборудования одного металлургического комбината составляют несколько миллионов гривен в год. Кроме того, для восстановительных мероприятий в структуре каждого комбината существуют свои ремонтные службы. Все это существенно повышает себестоимость выпускаемой продукции.

Неритмичные, а в ряде случаев экстремальные условия работы оборудования, приводят к увеличению нагрузок динамического и ударно-импульсного характера в узлах и деталях металлургических машин. Наряду с этим, снижению затрат способствует повышение эффективности эксплуатации оборудования. Для металлургического оборудования решение этой задачи тесно связано с повышением его надежности и долговечности. При этом увеличение сроков безаварийной работы необходимо осуществлять в условиях минимальных затрат.

Анализ отказов машин металлургического производства показывает, что 20% всех отказов приходится на долю воздействия однократных перегрузок динамического или ударно-импульсного характера. Особенности технологии металлургического производства не позволяют полностью исключить перегрузки в приводах и исполнительных органах металлургических машин, поэтому наряду с воздействиями, направленными на уменьшение динамичности машин, закономерными являются работы по созданию эффективной защиты машин от поломок. Для металлургических машин это наиболее экономичный вариант повышения надежности.

В практике эксплуатации металлургических машин широкое применение нашли предохранительные устройства, защищающие привод по крутящему моменту, и практически не используются устройства, снижающие воздействия нагрузок динамического и ударно-импульсного характера. Поэтому, актуальной является разработка предохранительных устройств, защищающих привод от перегрузок и ударно-импульсных нагрузок.

Для комплексной защиты приводов металлургических машин предложены две конструкции предохранительно-демпфирующих муфт [1, 2]. Предложенные конструкции муфт имеют высокие эксплуатационные свойства. Являясь комбинированными муфтами, они способны: предохранить привод от перегрузки по крутящему моменту (предохранительные свойства), защитить привод от динамического воздействия ударно-импульсной нагрузки (высокие упругие свойства — относительный угол закручивания полумуфт достигает 45°), их установка в приводах металлургических машин позволит крутильные колебания, возникающие в приводе сделать быстро затухающими (демпфирующие свойства), муфты обладают высокой компенсирующей способностью (способны компенсировать углы несоосности соединяемых валов $10-20^\circ$).

Достижение высоких эксплуатационных характеристик предохранительно-демпфирующих муфт стало возможным путем их оснащения системами гидроцилиндр-энергоаккумулятор с установленными в них упругими элементами (рис.1), обеспечивающими силовое замыкание полумуфт и передачу крутящего момента. Срабатывание муфт происходит при сжатии упругого элемента до своего предельного состояния, вследствие чего, происходит размыкание полумуфт. Однако анализ систем гидроцилиндр-энергоаккумулятор показал, что жесткость всей системы будет зависеть не только от жесткости упругого элемента, но и от скорости приложения нагрузки, ввиду потерь давления в местных сопротивлениях.

На основании результатов теоретических исследований системы гидроцилиндр-энергоаккумулятор получена функция давления в полости энергоаккумулятора:

$$p_3(P, d_s, d, D, v) = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_s^2} - \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{d_s}{d}\right)^2 \cdot v^2 \cdot \left(0,15 \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{d_s}\right)^2\right) + \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)^2\right),$$

где d_s — диаметр поршня гидроцилиндра; d — внутренний диаметр трубопровода; D — диаметр поршня гидроцилиндра; v — скорость приложения нагрузки.

Таким образом, можно сделать вывод, что функция давления в полости энергоаккумулятора — функция пяти переменных:

$$p_3 = f(P, d_s, d, D, v).$$

Анализ переменных, входящих в эту функцию показывает, что часть из них: d_2 , d , D — являются конструктивными параметрами системы гидроцилиндр-энергоаккумулятор и не зависят от характера приложения нагрузки.

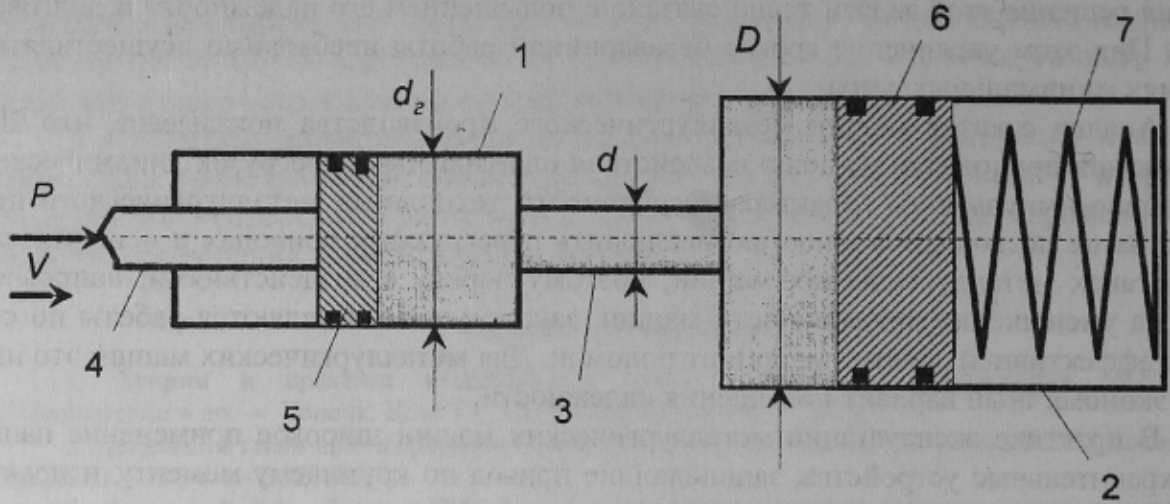


Рис. 1. Схема системы гидроцилиндр-энергоаккумулятор: 1 — гидроцилиндр; 2 — энергоаккумулятор; 3 — трубопровод; 4 — шток гидроцилиндра; 5 — поршень гидроцилиндра; 6 — поршень энергоаккумулятора; 7 — упругий элемент

Переменные P и v характеризуют величину и скорость приложения нагрузки и будут изменяться при каждом цикле нагружения муфты. Следовательно, и величина давления в камере энергоаккумулятора будет зависеть от скорости приложения нагрузки, что является недопустимым, так как момент срабатывания муфт находится в прямой зависимости от давления в камере энергоаккумулятора. Таким образом, недопустимо, чтобы величина момента срабатывания предохранительной муфты зависела от скорости приложения нагрузки. Это приведет к снижению ее точности срабатывания.

В качестве метода, на котором построено доказательство, принимается метод проведения многофакторного отсеивающего математического эксперимента.

Для определения значимости переменных (они же факторы в математическом эксперименте), входящих в выражение давления в полости энергоаккумулятора необходимо определить диапазоны их варьирования. В связи с тем, что надежность предохранительного устройства требует, чтобы одновременно с появлением предельной нагрузки на рабочем органе машины, нагрузка на предохранителе приняла значение, соответствующее нагрузке срабатывания. Следует считать, что наиболее целесообразно располагать предохранитель в непосредственной близости к месту приложения нагрузки. При наличии динамических нагрузок также целесообразно предохранитель располагать ближе к месту ее возникновения, так как в этом случае коэффициент динамичности на предохранителе будет наименьшим [3].

В связи с этим, муфты данного класса необходимо устанавливать на тихоходном валу машины непосредственно перед рабочим органом, что позволит уменьшить скорость приложения нагрузки и защитит большую часть привода машины от воздействия динамических нагрузок и ударов. Однако, такой выбор места установки муфт приведет к увеличению момента на ней и, как следствие, к увеличению усилия на поршне гидроцилиндра, что усложнит компоновку муфты.

С целью определения уровней варьирования факторов, входящих в зависимость давления в полости энергоаккумулятора, проведен анализ основных характеристик вспомогательного оборудования прокатных цехов. На основании анализа оборудования ДМЗ, ММК им. Кирова, ММК им. Ильича можно сделать следующие выводы о диапазонах изменения моментов M и угловых скоростей $\bar{\omega}$ на тихоходных валах машин данной группы:

$$M \in (10; 100) \text{ кН}\cdot\text{м}; \bar{\omega} \in (0; 3) \text{ с}^{-1}.$$

С учетом результатов анализа, а также динамики машин вспомогательного оборудования, диапазоны изменения крутящего момента и угловой скорости на валу предохранительно-демпфирующей муфты можно пересчитать в диапазоны изменения усилия на штоке гидроцилиндра системы гидроцилиндр-энергоаккумулятор и скорости приложения данного усилия:

$$P \in (100; 1000) \text{ кН}; v \in (0; 0,5) \text{ м/с}.$$

С учетом вышеизложенного проведен отсеивающий математический эксперимент по плану первого порядка (2^5).

Перечень факторов с указанием их уровней варьирования приведен в табл. 1.

Табл. 1 — Факторы математического эксперимента

Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Уровни варьирования			Шаг варьирования
			+1	0	-1	
Усилие на штоке гидроцилиндра I	P	Н	10^6	$52,5 \cdot 10^4$	10^5	$55 \cdot 10^4$
Диаметр поршня гидроцилиндра I	d_1	м	0,03	0,0065	0,1	0,035
Диаметр трубопровода	d	м	0,02	0,0125	0,005	0,0075
Диаметр поршня энергоаккумулятора	D	м	0,3	0,2	0,1	0,1
Скорость приложения нагрузки	v	м/с	0,5	0,25	0,0	0,25

Обработка результатов эксперимента выполнялась по методике, изложенной в работе [4], с помощью пакета STATISTICA 4.0.

Значимость факторов определена по критерию Стьюдента:

$$t_p > t_T(\alpha, f),$$

где t_p — расчетное значение критерия Стьюдента; $t_T(\alpha, f)$ — табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости q и степени свободы $f=31$, α — вероятность ошибки $\alpha=0,01$.

Согласно работе [4], табличное значение критерия Стьюдента принимаем: $t_T(0,01, 31)=2,73$.

Результаты расчета значимости факторов приведены в табл. 2.

Табл. 2 — Проверка значимости факторов

Факторы и их взаимодействие	Коэффициент Стьюдента	Выполнение условия значимости ^(*)
P	204759,9	+
D_1	-208949,0	+
D	1,8	-
D	$1,8 \cdot 10^{-14}$	-
V	-1,8	-
$P \cdot d_1$	-170955	+
$P \cdot d$	-1,8	-
$P \cdot D$	$-7,5 \cdot 10^{-12}$	-
$P \cdot v$	1,8	-
$d_1 \cdot d$	1,8	-
$d_1 \cdot D$	$5,2 \cdot 10^{-12}$	-
$d_1 \cdot v$	1,8	-
$d \cdot D$	$5,1 \cdot 10^{-12}$	-
$d \cdot v$	1,8	-
$D \cdot v$	$-3,8 \cdot 10^{-12}$	-

(*) — значимые факторы обозначены «+», незначимые факторы обозначены «-»

На основании проведенного эксперимента, установлено:

Значимыми факторами являются: P — усилие на штоке гидроцилиндра; d_2 — диаметр поршня гидроцилиндра.

Незначимыми факторами являются: d — диаметр трубопровода; D — диаметр поршня энергоаккумулятора; v — скорость приложения нагрузки.

В результате проведенных исследований доказана возможность использования систем гидроцилиндр-энергоаккумулятор в предохранительно-демпфирующих муфтах приводов металлургических машин, работающих в диапазонах угловых скоростей $\omega \in (0-3) \text{ с}^{-1}$ и крутящих моментов $M \in (10-100) \text{ кНм}$.

Список литературы

1. Заявка № 97125764, МПК⁶ F 16D 3/52. Запобіжно-демпфіруюча муфта / О.В.Нижнік, Г.В.Сопілкін, Р.В.Руденко. Заявлено 02.12.97. Позитивне рішення від 29.12.98.
2. Заявка № 97125766, МПК⁶ F 16D 3/52. Запобіжно-демпфіруюча муфта / О.В.Нижнік, Г.В.Сопілкін, Р.В.Руденко. Заявлено 02.12.97. Позитивне рішення від 29.12.98.
3. Гребенник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: Справочник. — М.: Металлургия, 1988. — С. 688.
4. Бондар А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. — К.: Выща школа, 1976. — 184 с.

© Нижнік А.В., 2001

СМИРНОВ А.Н. (ДОНГТУ), РЕДЬКО Г.А. (ДОННУ)

МЕХАНИЗМ ПОДАВЛЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЛИТКОВ В УСЛОВИЯХ ПУЛЬСАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В результате численных исследований и опытно-промышленных экспериментов уточнен характер гидродинамических и теплообменных процессов, приводящих к подавлению усадочных дефектов при формировании стальных слитков в условиях пульсационного воздействия.

Одним из эффективных способов управления качеством стальных слитков является перемешивание жидкой фазы пульсирующей затопленной струей [1], формируемой посредством периодического изменения давления газа во внутренней полости погруженной в прибыль керамической трубы. Полученные рядом исследователей практические результаты свидетельствуют о том, что пульсационное воздействие обеспечивает значительное подавление дефектов усадочного характера, а также повышает физическую и химическую однородность слитков [2–4]. Однако вопрос количественной взаимосвязи параметров пульсационного воздействия и наиболее характерных физических эффектов, его сопровождающих, с качественными показателями, достигаемыми при обработке слитков, изучен далеко не полностью, что не позволяет определять оптимальные параметры воздействия в зависимости от решаемых задач.

В настоящей работе будет предложено математическое обеспечение, позволяющее осуществить выбор оптимальных параметров пульсационной обработки с точки зрения подавления дефектов усадочного и ликвационного характера для слитков разного тоннажа и конфигурации. Для проверки адекватности математического обеспечения полученные результаты численных исследований сравниваются с данными опытно-промышленных экспериментов.

Для исследования гидродинамических и теплофизических процессов, имеющих место при пульсационной обработке расплава сформулирована математическая модель.