

УДК 621.78.085. 6.065.6

Минков А. Н., Минков К. А., Коломеец А. Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАКАЛКЕ ЛИТЫХ БАНДАЖЕЙ РАЗМОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Размольные мельницы используются для подготовки шихты в металлургической промышленности, а также применяются на предприятиях по производству кирпича, дренажных труб, черепицы и других керамических изделий в качестве валцов тонкого помола глины.

Валцы тонкого помола относятся к типу валковых дробилок и предназначены для помола керамической массы путем раздавливания и протирания материала за счет различной окружной скорости валков, вращающихся навстречу друг другу. Один из валков конструктивно выполнен передвижным, а второй – неподвижным (рис. 1). Привод валков от электродвигателей осуществляется посредством клиноременной передачи.

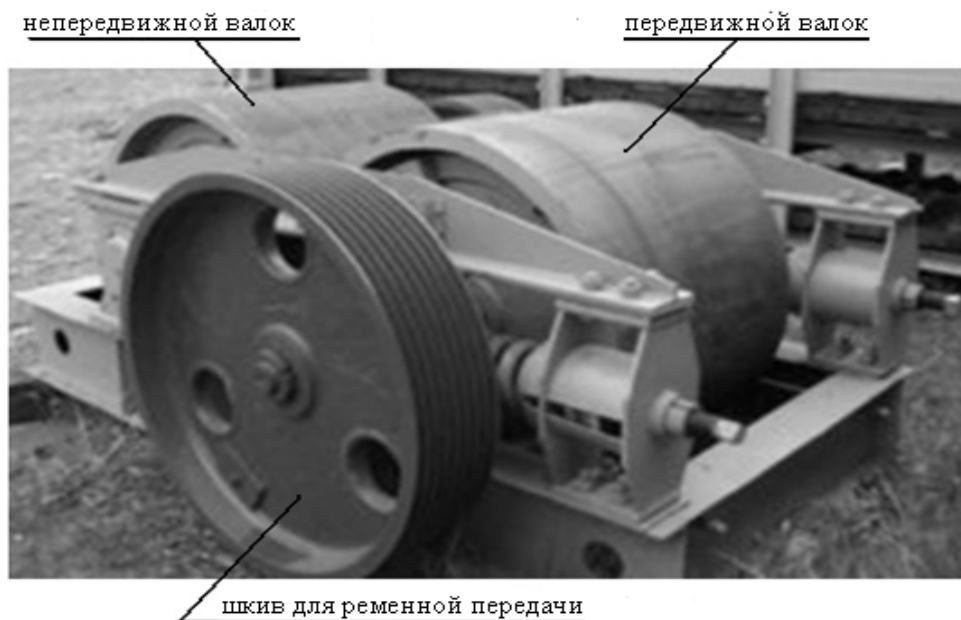


Рис. 1. Валцы тонкого помола глины

Конструкция обоих валков включает бандаж, который является основным рабочим узлом таких мельниц и представляет собой пустотелый цилиндр длиной до 1 000 мм и более, диаметром до 1 000 мм и более (рис. 2). Толщина стенки бандажа составляет 100 – 150 мм. Бандаж насаживается на два конусных диска, соединенных между собой шестью стяжками.

В процессе эксплуатации внешняя цилиндрическая поверхность бандажа подвергается интенсивному износу, что предопределяет необходимость обеспечения высокой твердости поверхностного слоя.

Валцы тонкого помола глины, производимые заводом «Красный Октябрь» (г. Харьков), комплектуются литыми бандажами из стали 45Л. Термическая обработка бандажей предусматривает проведение нормализации с отпуском, что позволяет получить твердость не более 200 НВ.

Для обеспечения более высокой эксплуатационной стойкости бандажи должны обладать поверхностным слоем с твердостью свыше 350 НВ. В то же время твердость на внутренней цилиндрической поверхности не должна превышать 230 НВ для снижения трудоемкости механической обработки при изготовлении посадочных конусов (рис. 2).

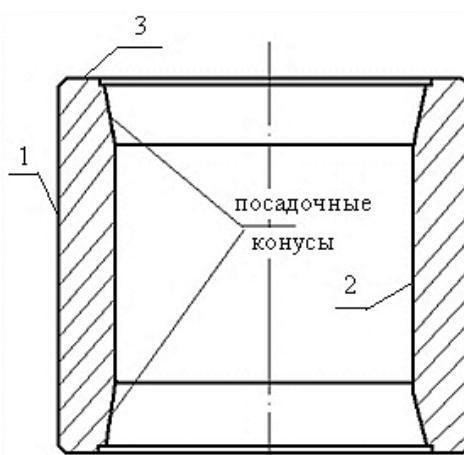


Рис. 2. Бандаж для валцов тонкого помола

Повышение твердости поверхностного слоя литых бандажей из стали 45Л свыше 350 НВ может быть достигнуто только в результате проведения закалки. При этом интенсивное охлаждение должно осуществляться только с внешней поверхности бандажа, поскольку твердость внутренней поверхности бандажа не должна превышать 200 НВ.

Для реализации подобного избирательного охлаждения было создано специальное охлаждающее оборудование, основные конструктивные особенности которого представлены в работах [1, 2].

Целью проведения настоящей работы является моделирование процесса регулируемого охлаждения и получение исходных данных для разработки технологии водо-воздушной закалки бандажей с регулируемым охлаждением.

Расчет температурного и напряженного состояния бандажа в процессе охлаждения осуществляли с применением QForm 2D/3D – программного комплекса для моделирования и оптимизации процессов обработки металлов давлением. Программа основана на методе конечных элементов и обеспечивает автоматическое формирование расчетных моделей (разбиение на конечные элементы), что позволяет обеспечить высокую точность расчета, не зависящую от квалификации пользователей [3, 4].

Для моделирования процессов термической обработки разработан модуль Qform Термообработка – совместный проект ООО «КванторФорм» и GMT mbH Berlin. Для проведения расчетов достаточно иметь геометрическую модель детали в виде файла STEP или IGES из любой CAD системы, которая затем будет автоматически преобразована в конечно-элементное представление при помощи модуля QShape. Расчет начинается от температуры аустенизации и продолжается до достижения комнатной температуры с заданными на поверхности тела условиями теплообмена.

В основе моделирования фазовых переходов лежит использование интерполированных диаграмм изотермического распада переохлажденного аустенита углеродистых и легированных сталей. При этом учитывается влияние легирующих элементов по смещению кривых начала и конца распада аустенита в зависимости от их содержания. При проведении расчетов используются данные, характеризующие плотность, теплопроводность, теплоемкость, модуль Юнга, предел текучести с учетом их зависимости от температуры для более 1 000 марок сталей.

В настоящей работе моделирование осуществлялось при различных условиях теплообмена на внешней (1) и внутренней (2) цилиндрических, а также торцевых (3) поверхностях (рис. 2). Интенсивность теплообмена на указанных поверхностях определялась коэффициентом теплоотдачи α , значения которого принимались постоянными в течение всего процесса охлаждения.

При моделировании процесса регулируемой закалки проводили анализ температурного и напряженного состояния бандажа в процессе охлаждения при следующих условиях теплообмена:

режим № 1: $\alpha = 3\ 000\ \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ на внешней, внутренней и торцевых поверхностях в течение всего процесса охлаждения;

режим № 2: $\alpha = 3\ 000\ \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ на внешней поверхности, $\alpha = 30\ \text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ на внутренней и на торцевых поверхностях в течение всего процесса охлаждения;

Условия теплообмена для режима № 1 соответствуют охлаждению интенсивным водяным душем с удельным расходом воды $20,6\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{час}$ [5]. Условия теплообмена для режима № 2 соответствуют охлаждению внешней цилиндрической поверхности интенсивным водяным душем с удельным расходом воды $20,6\ \text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{час}$, а внутренней цилиндрической и торцевых поверхностей – без подачи охладителей, т. е. на воздухе.

Температурное состояние внешней и внутренней цилиндрических поверхностей бандажа в процессе охлаждения представлено на рис. 3. Кривые охлаждения этих зон нанесены на диаграмму изотермического распада аустенита стали 45.

Распад переохлажденного аустенита во внешней поверхностной зоне при охлаждении как по режиму № 1, так и по режиму № 2 проходит в области промежуточного превращения с образованием преимущественно бейнитных структур и небольшого количества феррита.

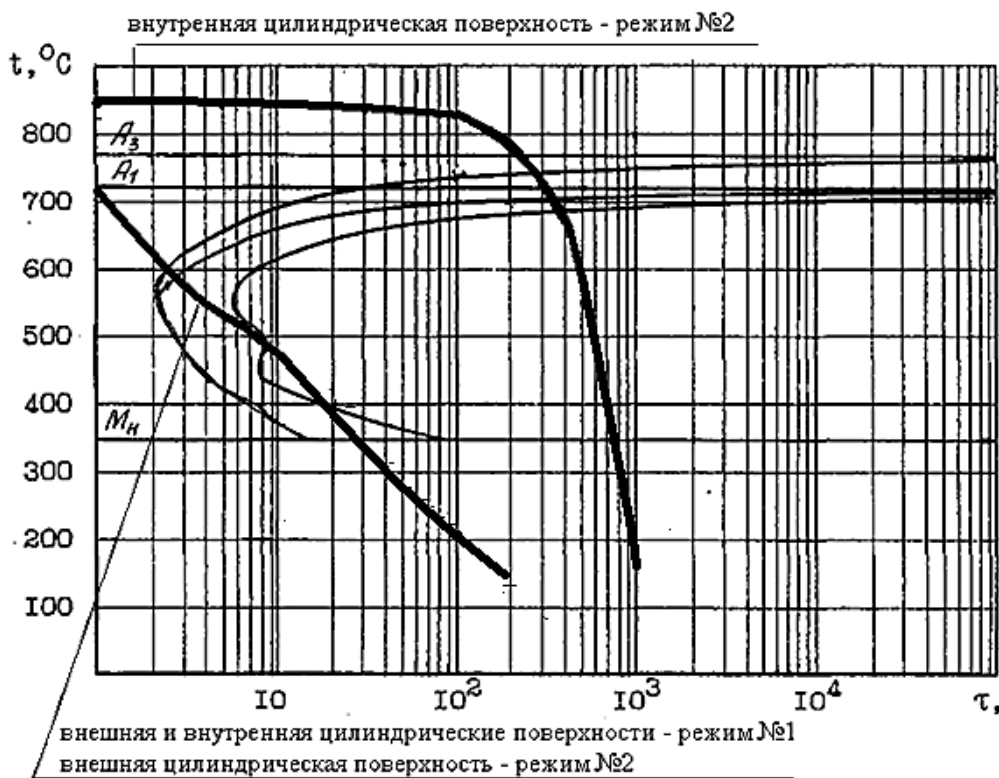


Рис. 3. Температурное состояние внешней и внутренней цилиндрических поверхностей при охлаждении по режимам № 1 и № 2

Структурообразование на внутренней поверхности бандажа при охлаждении по рассматриваемым режимам существенно различается. Интенсивное охлаждение водяным душем (режим № 1) сопровождается образованием таких же структур, как и на внешней поверхности бандажа. Охлаждение внутренней поверхности бандажа спокойным воздухом (режим № 2) приводит к первичному более значительному выделению феррита и последующему образованию перлитных структур.

Программний комплекс QForm позволяет количественно оценивать кинетику распада переохлажденного аустенита. В табл. 1 представлены данные, характеризующие структурные составляющие, образующиеся в результате распада аустенита, их количество и твердость внешней и внутренней цилиндрической поверхности после охлаждения по рассматриваемым вариантам. Установлено, что внешней поверхности при охлаждении по обоим режимам образуются бейнитные (свыше 75 %) и перлитные структуры (до 23 %) с небольшим количеством феррита (до 2 %). На внутренней поверхности при охлаждении по режиму № 2 образуются ферритные (32 %) и перлитные (68 %) структуры. Полученные результаты подтверждают ранее сделанные выводы о структурообразовании при охлаждении по рассматриваемым вариантам охлаждения.

Следует отметить, что после реализации обоих режимов охлаждения твердость внешней поверхности превышает 360 НВ, что должно способствовать повышению износостойкости. Твердость внутренней поверхности бандажа после охлаждения по режиму № 1 составляет 359 НВ, что вызовет значительные затруднения при изготовлении посадочных конусов. После охлаждения по режиму № 2 твердость внутренней поверхности не превышает 230 НВ, что вполне допустимо для проведения механической обработки.

Таблица 1

Структурные составляющие, образующиеся в результате охлаждения по различным режимам и твердость на внешней и внутренней поверхностях бандажа

Номер режима охлаждения	Поверхность бандажа	Количество структурных составляющих, %					Твердость, НВ
		аустенит	феррит	перлит	бейнит	мартенсит	
режим № 1	внешняя	0	2	23	75	0	361
	внутренняя	0	2	22	75	0	359
режим № 2	внешняя	0	2	16	82	0	386
	внутренняя	0	32	68	0	0	228

В табл. 2 представлены данные, характеризующие напряженное состояние внешних и внутренних поверхностных зон бандажа для рассмотренных режимов охлаждения.

Анализ напряженного состояния бандажа при охлаждении в соответствии с режимом № 1 показал, что на внешней поверхности в начале охлаждения возникают максимальные растягивающие напряжения, которые к пятой секунде увеличиваются до 384 МПа. В процессе дальнейшего охлаждения растягивающие напряжения преобразуются в сжимающие и достигают наибольшей величины 1 126 МПа к двадцатой минуте, когда температура поверхности снижается до 25 °С. На внутренней поверхности бандажа также в начале охлаждения возникают растягивающие напряжения и достигают 420 МПа на пятой секунде, а далее они преобразуются в сжимающие напряжения и достигают максимума 1 303 МПа после полного охлаждения.

Процесс формирования напряженного состояния на внешней и внутренней поверхностях бандажа при регулируемом охлаждении по режиму № 2 происходит по аналогичной схеме. На внешней поверхности в начале охлаждения формируются растягивающие напряжения, которые далее преобразуются в сжимающие и увеличиваются до 1 322 МПа к концу охлаждения. На внутренней поверхности формируются сжимающие напряжения, достигающие 397 МПа к седьмой минуте с начала охлаждения, которые трансформируются в незначительные растягивающие напряжения в конце охлаждения.

Таблица 2

Напряженное состояние внешней и внутренней цилиндрических поверхностей бандажа при различных вариантах охлаждения

Длительность охлаждения, с	Напряжение, МПа			
	Режим № 1		Режим № 2	
	Внешняя цилиндрическая поверхность	Внутренняя цилиндрическая поверхность	Внешняя цилиндрическая поверхность	Внутренняя цилиндрическая поверхность
0	0	0	0	0
5	384	420	286	-26
10	168	119	-78	-34
60	-402	-570	-467	-157
120	-514	-710	-485	-288
180	-617	-825	-540	-362
240	-787	-992	-606	-385
300	-910	-1110	-668	-393
360	-990	-1187	-728	-379
420	-1040	-1230	-780	-397
480	-1071	-1258	-836	-375
540	-1091	-1275	-906	-291
600	-1104	-1285	-977	-226
660	-1112	-1292	-1039	-178
720	-1117	-1296	-1091	-144
780	-1120	-1299	-1136	-113
840	-1123	-1300	-1176	-85
900	-1124	-1301	-1210	-61
960	-1125	-1302	-1240	-40
1020	-1125	-1302	-1265	-23
1080	-1125	-1303	-1287	-9
1140	-1126	-1303	-1306	3
1200	-1126	-1303	-1322	14

ВЫВОДЫ

1. Проведено расчетное определение температурного и напряженного состояния бандажа при различных условиях водо-воздушного охлаждения внешней и внутренней цилиндрических поверхностей.

2. Установлено, что необходимое распределение твердости по сечению бандажа (на внешней поверхности > 350 НВ, на внутренней < 230 НВ) обеспечивается охлаждением внешней поверхности бандажа водяным душем с удельным расходом воды 20,6 м³/м²·час, а внутренней поверхности – охлаждением спокойным воздухом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минков А. Н. Закалочное оборудование для водо-воздушного регулируемого охлаждения массивных цилиндрических деталей с вертикальной осью вращения / А. Н. Минков, К. А. Минков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 5. – С. 79–81
2. Пат. 45696 Україна, ПМК С21D 1/06 Пристрій для водно-повітряного гартування деталей з вертикальною віссю обертання / Мінков О. М., Мінков К. О.; заяв. 12.05.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
3. *QForm 2D/3D* — [Википедия ru.wikipedia.org/wiki/ Qform 2D/3D](http://ru.wikipedia.org/wiki/Qform_2D/3D).
4. *QuantorForm — QForm 2D/3D metal forming simulation software* www.qform3d.com.
5. Минков А. Н., Закалка крупногабаритных деталей с регламентированной интенсивностью охлаждения / А. Н. Минков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 88–91

Статья поступила в редакцию 26.02.2014 г.