

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ  
ВУЛКАНИЗАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Вулканизация представляет собой завершающий этап технологического процесса производства резинотехнических изделий. На данном этапе происходит формообразование изделия с требуемыми механическими свойствами. Каучук превращается в резину, теряет свою пластичность и становится эластичным, приобретает стойкость к многократным деформациям, способность к большому удлинению, амортизационные свойства и др.

Как правило, процесс осуществляется путем нагревания каучука, смешанного с вулканизирующими агентами, в пресс-форме под давлением. Наиболее распространенным оборудованием для реализации процесса вулканизации являются прессы с гидравлическим приводом, с помощью которых изготавливают резинотехнические изделия компрессионным методом. Этот метод прост и заключается в заполнении формуемой смесью нагретой пресс-формы, которая затем замыкается между нагретыми плитами прессы [1].

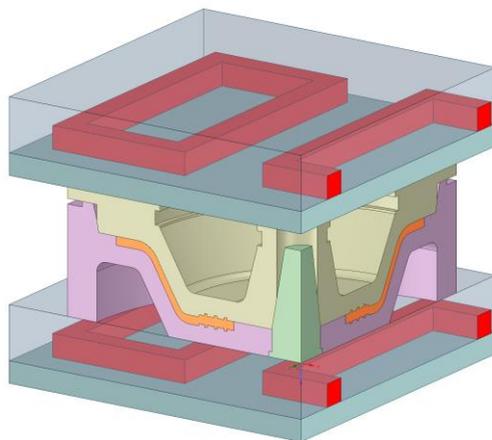
К значимым параметрам, определяющим процесс вулканизации, относятся температура, продолжительность, давление. Их величина назначается в зависимости от конструкции оборудования, среды вулканизации, состава и свойств резиновой смеси, конфигурации и размеров изделия (особое внимание здесь уделяется толщине). Важной характеристикой процесса, которой также уделяется внимание при разработке технологии, является время до начала реакции вулканизации. Исходная смесь должна иметь достаточную стойкость к преждевременной вулканизации, в противном случае затрудняется формование изделия [2].

Температура вулканизации на гидравлических прессах с паровым обогревом находится в интервале 143...180 °С, с электрическим обогревом – 180...200 °С. Удельное давление на плиту составляет 2...10 МПа в зависимости от мягкости смеси. Продолжительность процесса вулканизации при заданной температуре и определенном давлении определяется опытным путем по образцам, вырубленным из пластин резиновой смеси в различные моменты времени [4].

На рисунке 1 представлена модель, на которой показаны нагревательные плиты, вулканизационная пресс-форма и формуемое резинотехническое изделие.

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «ГТТУ» А. О. Глебова.



**Рис. 1. Сборка вулканизационной пресс-формы и плит**

Длительная вулканизация (продолжительной оптимального времени) приводит к ухудшению свойств. В частности, с определенного момента начинается снижение прочности и эластичности резинотехнического изделия. По этой причине исследуется кинетика процесса. В общем случае можно выделить четыре стадии: индукционный период, период вулканизации, плато вулканизации, период реверсии.

В течение первого периода сохраняется вязкотекучее состояние резиновой смеси, заготовки приобретают конфигурацию детали. Данная стадия должна протекать без возникновения явлений вулканизации по всей толщине заготовки.

Затем начинается период вулканизации, происходит прогрев резиновой смеси, сопровождающийся сшиванием молекул каучука с образованием пространственной сетки, и заготовка приобретает определенные физико-механические свойства. Ввиду низкой теплопроводности резины для деталей различной толщины время прогрева будет значительно отличаться. Кроме того, из-за неравномерности прогрева в изделиях большой толщины на участках вблизи нагретой поверхности пресс-формы вулканизация начинается и, соответственно, заканчивается раньше, чем в областях, более отдаленных, где реакция, возможно, еще не началась. Для получения изделий более высокого качества необходимо обеспечить равномерность протекания вулканизации во всех областях изделия.

Плато вулканизации подразумевает период, когда из каучуковой заготовки образуется резина с требуемыми свойствами по всей толщине изделия без явления перевулканизации. За плато начинается период

реверсии или перевулканизации, который является нежелательным ввиду ухудшения свойств резины [3].

Охлаждение полученного резинового изделия сопровождается его усадкой, которая в отдельных случаях может достигать значительных величин, что значительно осложняет изготовление деталей с точными размерами. Свойства резины в это время также претерпевают определенные изменения. Частично эти проблемы решаются уменьшением температур нагрева, повышением плотности наполнения резиновой смеси, выбором наиболее подходящего типа каучука, наполнителя, а также подбором оптимального для данных условий производства материала пресс-форм.

В целях повышения качества готовой продукции и экономической эффективности производства требуется постоянно совершенствовать подходы к изучению и определению наиболее подходящих режимных параметров процесса вулканизации.

Оценить оптимальность температурных и временных параметров можно с помощью моделирования кинетики процесса и построения кинетической кривой, отражающей степень вулканизации. Необходимо стремиться к прекращению процесса до достижения плато для предупреждения возникновения реверсии на отдельных участках изделия.

Интерес представляет изучение возможности придания изделию определенных свойств посредством реализации зонного нагрева пресс-форм. Здесь также важно учитывать кинетику протекания процесса вулканизации в отдельных областях заготовки и возникающие при этом тепловые эффекты.

Все это необходимо учитывать при проектировании элементов вулканизационного оборудования. Основным направлением исследований является создание требуемых температурных полей внутри изделия, обеспечивающих определенные эксплуатационные показатели готовой продукции. Этого можно достичь оптимизацией нагрева плит или разработкой конструкций пресс-форм, позволяющих добиться наиболее подходящих режимных параметров процесса.

Таким образом, можно выделить следующие основные вопросы, требующие проработки при решении задачи об оптимизации элементов вулканизационного оборудования:

- 1) изучение и моделирование кинетики процесса вулканизации резинотехнических изделий;
- 2) анализ существующих подходов к оптимизации режимных параметров процесса вулканизации, обеспечивающих повышение качества готовой продукции;
- 3) исследование способов обеспечения равномерности протекания процесса вулканизации во всех областях изделия;

4) расчет нестационарных температурных полей системы «плита – пресс-форма – изделие» с учетом тепловых эффектов реакции вулканизации;

5) моделирование и оптимизация зонного нагрева пресс-форм с целью получения резинотехнических изделий, обладающих заданными эксплуатационными характеристиками.

### **Список литературы**

1. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности / Н. Г. Бекин, Н. Д. Захаров, Г. К. Пеунков и др. – Л. : Химия. – 1985. – С. 219.

2. Coran, A. Y. Vulcanization / A. Y. Coran // Science and technology of rubber. – Academic Press, 1994. – P. 339 – 385.

3. Шаптала, М. В. Особенности расчета режимов вулканизации пневматических шин с учетом трехмерности конструкции / М. В. Шаптала, В. А. Ищенко // Системные технологии: региональный межвуз. сб. науч. трудов. – 2008. – Вып. 2(55). – С. 147 – 158.

4. Бергштейн, Л. А. Лабораторный практикум по технологии резины : учеб. пособие для техникумов. – 2-е изд., перераб. / Л. А. Бергштейн. – Л. : Химия, 1989. – 248 с.

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы  
в машиностроении» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*