

В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук,
И.А. ТРУСОВА, д-р техн. наук,
Д.В. МЕНДЕЛЕВ,
П.Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук,
В.А. ХЛЕБЦЕВИЧ (БНТУ)

ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

Оптимизация тепловой работы печного агрегата или задача его оптимального проектирования определяется, прежде всего, взаимосвязанной и комплексной оценкой влияния каждого элемента на совершенствование и повышение эффективности работы с полной увязкой теплотехнических и экономических факторов. При определении требований к конструкциям и последующей эксплуатации нагревательных и термических печей необходимо максимально предусмотреть уменьшение потерь теплоты с отходящими газами, теплопроводностью через кладку и аккумуляцией теплоты стенками. Важным требованием к конструкции, например, камерных печей металлургического и машиностроительного производства, является обеспечение равномерности передачи теплоты на поверхность всех нагреваемых изделий, находящихся в различных местах рабочего пространства, так как садка неподвижна, и выровнять ее нагрев путем перемещения отдельных заготовок является трудно осуществимой задачей.

Поскольку передача теплоты к нагреваемым изделиям в условиях газопламенных печей происходит как непосредственно газом (продуктами сгорания), так и стенками печи, теплоносители (продукты сгорания) должны по возможности равномерно омывать поверхности изделий и стенок. Это, в свою очередь, требует при проектировании агрегата рассмотрения вопросов рационального размещения топливосжигающих устройств и каналов для удаления газов из рабочего пространства. Необходимо также рассматривать вопросы проектирования печного пространства или приспособлений для формирования проходов для газов как внутри садки, так и под ней.

Авторы [1] указывают, что существует оптимальная, зависящая от конструкции печи, формы и размеров нагреваемых изделий величина садки. При нагреве в печах с достаточно развитой циркуляцией газов эта оптимальная относительная величина (в процентах от общего объема печного пространства) составляет в случае тепловой обработки заготовок малого поперечного сечения (прутки, трубы) – 8–12 %, в случае заготовок большего поперечного сечения (поковки) – от 15–20 до 30 %. Данные колебания величины заполнения объясняются необходимостью создания между отдельными заготовками промежутков для газовой среды, относительная величина которых возрастает с уменьшением поперечного сечения изделия.

Общее количество теплоты, передаваемого нагреваемому металлу, зависит в большей степени от массы садки, теплоемкости металла и интервала температур, в котором происходит его нагрев. Если рассматривать неизменным количество теплоты при оптимальной массе садки для данной конструкции печи, то производительность и удельный расход топлива будут зависеть только от продолжительности операции тепловой обработки. Равномерный нагрев садки позволяет сократить продолжительность выдержки для выравнивания нагрева поверхности заготовок.

Совершенствование конструкции печи может явиться основой для общего сокращения длительности тепловой обработки. То есть, обеспечение более равномерного и быстрого нагрева изделий способствует уменьшению потерь теплоты теплопроводностью стенок, величина которых прямо пропорциональна продолжительности термообработки [1].

В процессе проектирования следует также рассматривать интенсификацию теплообмена в рабочем пространстве печи, поскольку она является одним из основных мероприятий по экономии топлива. Важную роль в интенсификации нагрева заготовок в топливной печи играет организация движения греющей среды в рабочем пространстве, на которую, в свою очередь, существенное влияние оказывают форма и размеры нагреваемых заготовок, их расположение в рабочем пространстве и расположение топливосжигающих устройств. Здесь следует отметить, что нагрев заготовок в высокотемпературных печах металлургического и машиностроительного производства осуществляется за счет теплообмена излучением и

конвекцией. Если рассматривать радиационную составляющую теплообмена, то изменение формы и размеров нагреваемых заготовок приводят к различным угловым коэффициентам излучения между участвующими в теплообмене объектами. С точки зрения определения конвективной составляющей теплообмена важную роль будут играть скорость движения греющих газов и организация их движения относительно нагреваемой заготовки. Соответственно, если печь проектировалась для нагрева заготовок определенной формы и размеров, то она не будет эффективно работать, если в ней нагревать заготовки другой формы и размеров, так как изменится движение греющей среды в рабочем пространстве. Это в конечном итоге может привести к увеличению расхода топлива и снижению производительности печи. Очевидно, что данный момент является одним из важнейших при проектировании печей для тепловой обработки.

В соответствии с соотношением между количеством теплоты, поступающей от факела к металлу, и от кладки печи к металлу в общей теории печей, разработанной М.А. Глинковым, принято рассматривать различные режимы теплообмена. Равномерно распределенный режим теплообмена широко использовался в печах для нагрева крупных и сложных садов, когда стремились к интенсификации конвективной составляющей теплообмена при наибольшей степени выравнивания температур в объеме рабочего пространства. Конструктивные особенности таких печей характеризовались, как правило, низкой энергетической эффективностью, поэтому проблемы рационального использования топлива для данного типа печного оборудования являются актуальными и в настоящее время. Эффективность использования прямого направленного режима теплообмена определяется, в основном, повышением конвективной составляющей теплопередачи. Указанная возможность обычно реализуется при струйном нагреве металла. Такой вид тепловой обработки основан на применении специальных скоростных горелок, обеспечивающих высокую скорость истечения продуктов сгорания. Вследствие высокой скорости потока продуктов сгорания и разрушения пограничного слоя ударной струей, конвективная составляющая теплового потока резко возрастает и составляет не менее 50 % суммарного теплового потока. Такая интенсификация теплообмена ускоряет процесс нагрева при одновременном повышении

качества обработки, благодаря снижению окалинообразования и обезуглероживания поверхности металла по сравнению с обычным нагревом.

Одновременно с высокими значениями передаваемого металлу теплового потока нужно обеспечить высокую пространственную равномерность передачи тепловых потоков, что определяет качество тепловой обработки. При этом следует отметить, что косвенно-направленный режим обеспечивает лучшие результаты тепловой обработки металлов в печах по сравнению с прямым направленным режимом теплообмена.

Выбор конкретного режима тепловой обработки зависит от типа нагреваемых изделий. В случае массивной садки, занимающей значительную часть объема рабочего пространства печи, целесообразно использовать равномерно-распределенный режим с высокой кратностью рециркуляции газов. Повышение эффективности работы печей косвенно-направленного теплообмена возможно сжиганием топлива вблизи керамических поверхностей. При этом удастся повысить коэффициент использования теплоты топлива, так как повышается температура поверхности кладки и степень полноты горения. Это можно использовать для интенсификации теплообмена и экономии топлива в печах. По некоторым данным [2] при равной тепловой мощности эффективность сводового отопления на 6–9,5 % выше, чем обычного, а при равном тепловосприятии пода – на 20 %.

Как ранее отмечалось, функционирование печи зависит от таких конструктивных особенностей как:

- тип расположения и режим работы горелочных устройств;
- объем, форма футеровки, средства герметизации рабочего пространства;
- механизация процессов загрузки-выгрузки;
- средства удаления и рекуперации дымовых газов;
- автоматизация контроля регулирования и управления тепловым режимом.

Если проанализировать эффективность функционирования промышленных печей с различных точек зрения, то к факторам, влияющим на потребление топлива печами, можно отнести следующие: теплотехнические (печное оборудование), технологические (режи-

мы тепловой обработки), управление (режимы функционирования) [3].

К первой группе относятся технические характеристики печного оборудования (коэффициент полезного действия и коэффициент использования топлива), коэффициент рекуперации (утилизации) теплоты. Теплотехническими факторами также являются параметры тепловых режимов – температура и скорость нагрева металла, продолжительность и равномерность нагрева, число тепловых операций, снижение потерь теплоты через ограждения, снижение теплоты на аккумуляцию теплоты кладкой, повышение температурной равномерности и точности нагрева. Установка на печи горелочных устройств новых конструкций (горелок с высокоскоростным потоком продуктов сгорания, излучающих плоскопламенных горелок) обеспечивает снижение температуры уходящих газов вследствие интенсификации процессов передачи теплоты в рабочем объеме печи и исключает химическую неполноту сгорания топлива. Проведение модернизации и реконструкции печного хозяйства требует значительных материальных затрат, что ограничивает возможность полной реализации реконструктивных мероприятий в приемлемые сроки и делает экономически целесообразной частичную модернизацию печей (установку рекуператоров, замену футеровки, интенсификацию теплообмена и т.п.).

К технологическим факторам относится сокращение продолжительности тепловых режимов, рациональное использование начального теплосодержания металлов, включая повышение теплосодержания металла перед обработкой (организация так называемого горячего посада). Отличительная особенность данного направления экономии топлива – его реализация не требует дополнительных затрат.

К факторам управления относится оптимизация загрузки, оптимизация теплового режима, сокращение продолжительности холостого хода, соблюдение нормативно-производственной дисциплины, соблюдение режимно-эксплуатационной дисциплины.

Литература

1. **Зобнин, Б.Ф.** Пути повышения эффективности использования природного газа в камерных термических печах / Б.Ф. Зобнин. – М.: ВНИИГазпром, 1977.

2. Зеньковский, А.Г. Интенсификация теплообмена – один из путей экономии топлива в нагревательных печах / А.Г. Зеньковский. – М.: ВНИИгазпром, 1985.

3. Тимошпольский, В.И. Концепция реконструкции и модернизации парка нагревательных печей металлургических и машиностроительных предприятий Республики Беларусь: от теории к практике / В.И. Тимошпольский [и др.] // Литье и металлургия. – № 2. – 2007. – С. 21–28.

УДК 621.791.927

**К.Е. БЕЛЯВИН, д-р техн. наук (БНТУ),
А.В. СОСНОВСКИЙ (ОИМ НАНБ),
И.В. БАБУШКИН, канд. техн. наук (ИФ НАНБ)**

РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ ФРОНТА ПЛАВЛЕНИЯ ПРИ РАСПЛАВЛЕНИИ ПОРОШКОВОЙ ШИХТЫ ЗАГОТОВКОЙ РАЗОГРЕВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ

Одним из перспективных методов повышения срока службы деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, является метод наплавки износостойких покрытий, предложенный в ОИМ НАН Беларуси [1]. Суть его состоит в том, что порошковый материал оплавляется на поверхности разогретой заготовки, погруженной в емкость с этим порошком. При этом нагрев заготовки осуществляют электроконтактным способом. После кратковременной выдержки деталь извлекается с образовавшимся на ее поверхности слоем присадочного материала заданной толщины. На основе данного метода была разработана технология наплавки, позволяющая получать покрытия заданной толщины на различных деталях стержневого типа. Для реализации технологии можно использовать стандартные электроконтактные установки для точечной, шовной или рельефной сварки, обеспечивающие высокий КПД при быстром разогреве наплавляемой детали.

Основной сложностью в процессе наплавки методом электроконтактного оплавления является выбор технологических режимов,