

УДК 621.785.1

АНАЛИЗ НАГРЕВА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК В ПОЛУМЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКОЙ

М.Ю. Целуев¹, С.Н. Целуева², А.Г. Немцев³, П.С. Дробышевский³,
Т.М. Чудновская³

¹Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

³Открытое акционерное общество «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Введение. Благодаря высоким технико-экономическим показателям процесса горячая объемная штамповка стальных поковок нашла широкое применение в технологии производства деталей сельскохозяйственного машиностроения. Способ и режим нагрева исходных заготовок перед горячей штамповкой влияет на качество получаемых поковок, коэффициент использования металла, стойкость штампов, расход топлива, мощность кузнечно-прессового оборудования и производительность труда [1].

Вследствие универсальности и экономичности метода до настоящего времени широко распространенным в серийном кузнечно-штамповочном производстве остается газопламенный нагрев стальных заготовок в методических и полуметодических печах [2]. При разработке новых и совершенствовании существующих технологических процессов горячей штамповки стальных поковок важное место должно уделяться оптимизация технологических режимов нагрева исходных заготовок и работы нагревательного оборудования [3]. Экспериментальное определение экономичных режимов нагрева металла в печи связано со значительными затратами времени, материальных и финансовых ресурсов. В связи с этим актуальными являются теоретические исследования по обоснованию оптимальных режимов нагрева стальных заготовок перед горячей объемной штамповкой.

Целью работы является обоснование технологических режимов нагрева стали в полуметодической печи до температур горячей штамповки на основе теоретического исследования температурных полей в цилиндрических мерных заготовках.

Методика исследования. На основе закономерностей теории теплопереноса [4, 5] в работе сформулирована тепловая задача нагрева мерных цилиндрических заготовок в полуметодической нагревательной печи толкающего типа, учитывающая зависимость теплофизических

свойств материала заготовок от температуры, неоднородность распределения температуры печи в методической зоне, неравномерность теплового потока от источников теплового излучения на поверхности заготовки.

Теоретические исследования теплового режима нагрева цилиндрических мерных заготовок в полуметодической печи осуществляли путем многовариантных численных решений тепловой задачи методом конечных элементов. В процессе решения тепловой задачи использовали зависимости удельной теплоемкости, плотности и коэффициента теплопроводности от температуры для легированной стали 18ХГТ [6]. Варьируемыми параметрами в процессе численных исследований теплового режима нагрева являлись: диаметр d заготовок в интервале 120...150 мм, шаг проталкивания заготовок в печь – $(1...3)d$, продолжительность цикла подачи заготовок в печь – 60...570 с.

Расчеты осуществляли для геометрических и температурных параметров, характерных для работы газовой полуметодической печи ТермоГаз-УО-6,5.48.2,5/1250-И2. Температура печи в начале зоны предварительного нагрева длиной 1200 мм составляла 800 °С, в зоне нагрева длиной 4800 мм – 1250 °С. Степень черноты металла принималась равной 0,8, горячих газов – 0,3 [4].

Полученные результаты. В результате численных исследований температурного режима нагрева стальных мерных заготовок в полуметодической печи установлены зависимости температуры нагрева T для верхней и нижней материальных точек поверхности, а также центра заготовки от времени нагрева t , величины диаметра d , шага проталкивания l_m и продолжительности цикла подачи t_c заготовок.

На рисунке 1 представлены характерные графические зависимости температуры нагрева точек поверхности и центра заготовок в зависимости от времени нагрева. Для всех рассмотренных случаев изменения варьируемых параметров полученные зависимости свидетельствуют о прямой нелинейной зависимости температуры нагрева материальных точек заготовки от времени нагрева. Наибольшую температуру нагрева для всех рассмотренных случаев имеет верхняя материальная точка поверхности заготовки, что связано с особенностью распределения плотности теплового потока от источников теплового излучения по поверхности заготовки. Температуры центра и нижней точки поверхности ниже вследствие одностороннего нагрева заготовки и термического сопротивления слоев металла, разделяющих поверхность нагрева и рассматриваемые материальные точки заготовки.

На рисунке 2 приведены типовые графические зависимости развиваемых перепадов температур $2\Delta T/d$ между верхней точкой поверхности и центром заготовок, а также между центром заготовок и нижней точкой поверхности от времени нагрева. Для рассматриваемых

диаметров заготовок и ряда продолжительности циклов подачи полученные графические зависимости свидетельствуют о наличии трех характерных этапов нагрева заготовок.

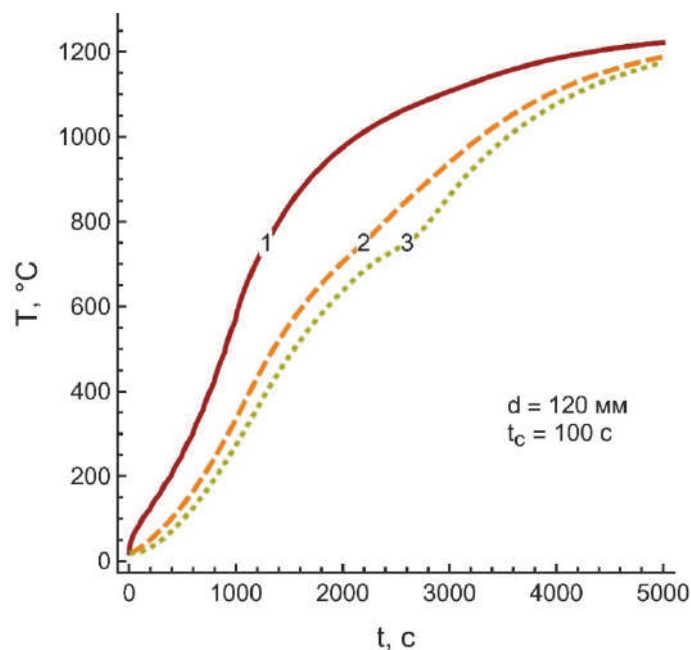


Рис. 1 – Зависимость температуры T заготовки диаметром $d=120$ мм от времени нагрева t для шага подачи $l_m=120$ мм и продолжительности цикла подачи $t_c=100$ с: 1 – верхняя точка поверхности; 2 – центр; 3 – нижняя точка поверхности

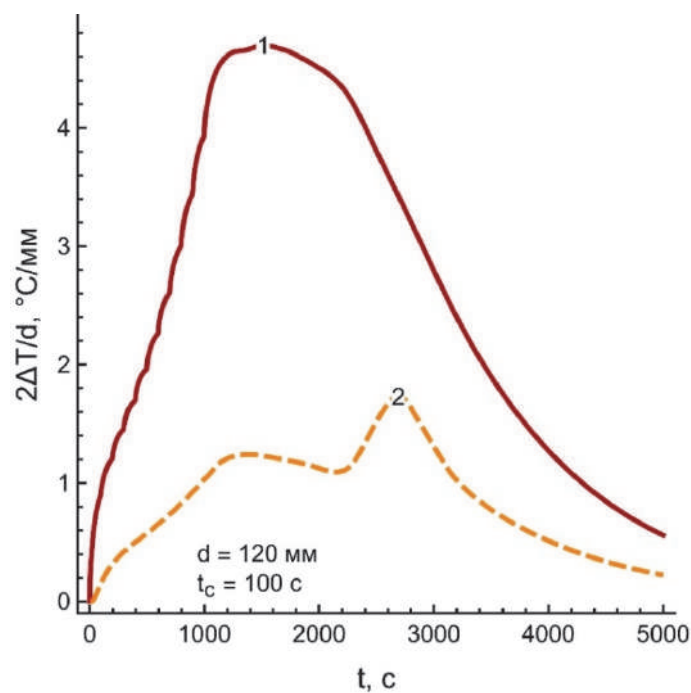


Рис. 2 – Зависимость перепада температуры $2\Delta T/d$ в заготовке диаметром $d=120$ мм от времени нагрева t для шага подачи $l_m=120$ мм и

продолжительности цикла подачи $t_c=100$ с: 1 – между верхней точкой поверхности и центром; 2 – между центром и нижней точкой поверхности

На первом этапе скорость нагрева верхней точки поверхности превышает скорость нагрева центра заготовки, что проявляется на представленных кривых в увеличении перепада температуры между этими точками заготовки. Далее, в связи с ростом температуры поверхности, снижается тепловой поток, поступающий в заготовку от источников теплового излучения, а скорость нагрева поверхности и центра заготовки выравниваются. На этом этапе нагрева на зависимостях перепада температуры от времени нагрева наблюдается участок близкий к горизонтальному. На третьем этапе скорость нагрева внутренних слоев заготовки превышает скорость нагрева поверхности – происходит выравнивание температуры по поперечному сечению заготовки.

Установленные зависимости показывают рост скорости нагрева заготовок при перемещении по зоне предварительного нагрева печи, что объясняется ростом температуры печи по мере удаления заготовки от загрузочного окна в пределах методической зоны предварительного нагрева. В зоне нагрева температура печи однородна, а скорость нагрева заготовок уменьшается по мере удаления от окна загрузки, что объясняется повышением температуры поверхности заготовки и соответствующим снижением теплового потока, поступающего в заготовку от источников теплового излучения.

Анализ полученных теоретических данных свидетельствует о прямой нелинейной зависимости конечной температуры нагрева заготовок от продолжительности цикла подачи заготовок и общей продолжительности нагрева, обратной нелинейной зависимости от величины диаметра заготовки. Для выбранных в ходе численного исследования условий проведения вычислительных экспериментов шаг подачи заготовки практически не оказывает влияние на конечную температуру нагрева заготовок.

Максимальная температура нагрева стали 18ХГТ перед обработкой давлением не должна превышать 1200...1220 °С, а конечный перепад температур между поверхностью и центром для стальных заготовок при нагреве под ковку и штамповку – порядка 3 °С/мм [4, 6]. Анализ полученных данных, позволил установить приведенные в таблице 1 рекомендуемые значения для продолжительности цикла проталкивания, шага подачи и общей продолжительности нагрева, обеспечивающие нагрев центра заготовок до рекомендуемой температуры.

По данным выполненного расчета максимальный перепад температур между верхней точкой поверхности и центром заготовок при нагреве по рекомендуемым режимам составляет 37,6 °С, между центром и нижней точкой поверхности – 15,5 °С, что является допустимым при нагреве металла перед горячей обработкой давлением.

Результаты численных вычислений показали, что с целью увеличения продолжительности цикла подачи заготовок по поду печи можно рассмотреть вариант одновременной подачи 2...3 заготовок при кратном их количестве увеличении шага и продолжительности цикла подачи.

Табл. 1 – Рекомендуемые режимы нагрева заготовок

Параметр	Диаметр заготовки, мм			
	120	130	140	150
Шаг подачи, мм	120	130	140	150
Продолжительность цикла толкания, с	100...110	120...130	150...160	170...180
Общее время нагрева, с	5000...5500	5520...5980	6300...6720	6800...7200

Заключение. Предложена тепловая задача нагрева заготовок в полуметодической печи толкающего типа, учитывающая зависимость теплофизических свойств материала заготовок от температуры, неоднородность распределения температуры печи в методической зоне, неравномерность теплового потока от источников теплового излучения на поверхности заготовки.

Путем многовариантных численных решений тепловой задачи теоретически исследован тепловой режим нагрева стальных мерных заготовок диаметром 120...150 мм до температур горячей штамповки. Установлены основные закономерности изменения температур и температурных градиентов в нагреваемых заготовках в зависимости от величины их диаметра, шага и продолжительности цикла проталкивания заготовок по поду печи. По результатам исследований предложены рекомендуемые значения технологических параметров нагрева, обеспечивающие нагрев заготовок до температуры 1200 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Altan, T. Cold and Hot Forging Fundamentals and Applications / T. Altan, G. Ngaile, G. Shen. – Cleveland in Novelty : Materials Park, Ohio 44073-0002, 2005. – 342 p.
2. Trinks, W. Industrial Furnaces / W. Trinks, M. H. Mawhinney, R. A. Shannon and others. – 6th ed. – New Jersey : Willey, 2004. – 473 p.
3. Закарлюкин, С. И. Разработка и освоение участка нагрева заготовок из специальных сталей и сплавов / С. И. Закарлюкин, Г. И. Коваль // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 64–71.
4. Гусовский, В. Л. Методики расчета нагревательных и термических печей / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц. – М. : Теплотехник, 2004. – 400 с.

5. Стальной слиток : в 3 т. – Мн. : Белорусская наука, 2001. – Т. 3: Нагрев / В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович, И. А. Трусова [и др.] ; под общ. ред. В. И. Тимошпольского, Ю. А. Самойловича. – 2001. – 879 с.

6. Metal Forming Data : in 2 vol. / ed. H. Warlimont. – Berlin : Springer-Verlag, 2009. – Part 1 : Ferrous Alloys / M. Spittel, T. Spittel. – 2009. – 993 p.