

Для загрузки печи включается шнековый конвейер, затем питатели, производительность которых регулируется. Равномерность подачи шихтовых материалов по течкам регулируется поворотным устройством в распределителе.

Проектируемая система узла загрузки обеспечит необходимую герметичность и равномерность подачи шихтовых материалов, что, в свою очередь, повысит производительность печи.

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В СИСТЕМЕ «ВОЛОКА – ЗАГОТОВКА – ОПРАВКА» ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕДНЫХ ТРУБ

© Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

В технологии производства капиллярных труб допускается вариант применения процесса многократного волочения без отжига, при этом к завершающей стадии волочения достигается значительное накопление пластической деформации. Ее величину можно определить приближенно, зная исходные размеры прессовой заготовки и размеры полученного продукта. При наличии прессовой заготовки наружным диаметром 46,5 мм, внутренним диаметром 40,5 мм, ее площадь поперечного сечения составит 410 мм². При получении капиллярной трубы наружным диаметром 2,10 мм, внутренним диаметром 0,80 мм, ее площадь поперечного сечения составит 2,96 мм². Суммарный коэффициент вытяжки на стадии холодной обработки составляет 138, логарифмическая степень деформации 4,93, степень деформации сдвига относительное обжатие 99,3%. Как видно из этих расчетов, нагартовка металла в конце технологического процесса оказывается очень большой.

Работа пластической деформации материала объемом V приближенно равна

$$A = T \cdot \Delta\Lambda \cdot V,$$

где T – интенсивность касательных напряжений, $\Delta\Lambda$ – приращение степени деформации сдвига в данном проходе волочения. В соответствии с условием текучести Мизеса $T = \sigma_s / \sqrt{3}$, где σ_s – сопротивление деформации. В первом приближении примем, что коэффициент вытяжки в единичном процессе волочения равен $\lambda = 1,5$, тогда без учета сдвиговых компонент деформации $\Delta\Lambda = \sqrt{3} \ln \lambda = 0,702$. При волочении фрикционный эффект описывают малыми значениями коэффициента трения, поэтому пренебрежем работой, затрачиваемой на трение.

В соответствии с законом сохранения энергии работа деформации A превратится, в основном в тепло Q , которое выделится в деформируемом объеме V :

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot C \cdot \Delta t,$$

где m – масса, $\rho = m/V$ – плотность; C – удельная теплоемкость; Δt – приращение температуры. Используем равенство $A = Q$ и определим приращение температуры:

$$\Delta t = \sigma_s / \sqrt{3} \cdot \Delta\Lambda / \rho / C,$$

В состоянии наибольшей нагартовки сопротивление деформации меди составляет величину около 450 МПа, физические константы $\rho = 8940$ кг/м³; $C = 390$ Дж/(кг · °С). После подстановки этих величин в последнюю формулу, получим $\Delta t = 46,5$ °С. Таким образом, средняя температура заготовки может повыситься в текущем проходе волочения на 46,5 °С.

Эти результаты не учитывают характер формоизменения при волочении именно толстостенной трубы. Для оценки ситуации используем соотношения, приведенные в книге [1]. При обжатии трубы по наружному контуру интенсивность скорости деформации сдвига равна

$$H = 2v \cdot r_n / r^2,$$

где v – скорость перемещения наружного контура трубы в радиальном направлении; r_n и r – наружный и текущий радиусы. Из формулы, в частности, следует, что при приближении текущего или внутреннего радиуса к нулю интенсивность скорости деформации сдвига стремится к бесконечности. Поскольку степень деформации сдвига Λ связана с H соотношением

$$\Lambda = \int_t H d\tau,$$

где t = время деформации, то степень нагартовки металла значительно увеличивается при уменьшении текущего радиуса, что характерно именно для класса толстостенных труб, к которому относятся капиллярные трубы.

В результате на внутренней контактной с оправкой поверхности заготовки возникают большие деформации, которые могут приводить к гораздо большему тепловыделению именно на этой поверхности, чем это происходит в среднем по объему.

Для оценки этого эффекта выполнено решение задачи с помощью метода конечных элементов, реализованного в специализированном инженерном программном комплексе DEFORM, разработанного американской компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC).

Постановка задачи осуществлялась для медной заготовки с реальными размерами: реализован случай волочения толстостенной трубы с размерами $5,16 \times 0,91$ мм с увеличением отношения толщины стенки трубы к наружному диаметру от 0,176 к 0,201 при коэффициенте вытяжки $\lambda = 1,54$ ($\varepsilon = \ln \lambda = 0,43$).

Деформируемая среда: медь марки М1, свойства которой описаны соответствующей кривой упрочнения [2].

Одним из первых этапов моделирования является создание геометрической модели и расположение ее объектов относительно друг друга. Схематичное изображение геометрической модели для нулевого момента времени приведено на рисунке 1.

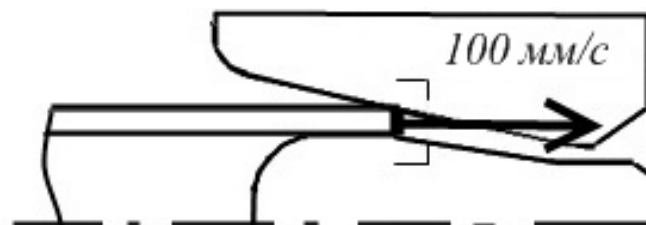


Рис. 1. Геометрическая модель

Для упрощения задачи автоколебаниями оправки пренебрегли. Оправка является неподвижной.

Исходя из разности полууглов конусности волокна (12°) и оправки (9°), были приняты следующие показатели трения по Кулону [3]:

- между металлом и волоком $\mu_b = 0,75$;
- между металлом и оправкой $\mu_o = 0,02$.

Для оценки распределения температуры между заготовкой, оправкой и волоком поставлена тепловая задача при следующих граничных условиях и характеристиках:

- температура окружающей среды – 20°C ;
- коэффициент теплопередачи – $1 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- коэффициент теплопроводности меди $382 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, твердого сплава ВК8 (материал волокна) – $44 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, стали (материал оправки) – $50,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;
- удельная теплоемкость меди $385 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, твердого сплава ВК8 – $462 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, стали – $134 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;
- степень черноты не задана, т.к. тепловое излучение не значительно.

На рис. 2а показано распределение температур, достигнутое после протягивания 40,5 мм заготовки при скорости 100 мм/с.

Следует отметить, что полученное решение нельзя распространить на весь цикл волочения трубной заготовки, поскольку остается неизвестным баланс тепла, уносимого заготовкой и аккумулируемого инструментом. Однако решение позволяет оценить, в каких областях инструмента температура повышается более интенсивно. В частности выявлено, что волока нагревается до меньших температур, чем плавающая оправка. Это объясняется меньшей поверхностью контакта заготовки с оправкой, чем с волокой и большей локализацией деформации на внутреннем контуре заготовки.

На рис. 2а стрелками показано направление теплоотвода от нагреваемой от энергии деформации заготовки. Видно, что поверхность теплоотвода в сторону волоки оказывается больше, чем в сторону оправки. Важно отметить, что разница в характере теплопередачи в сторону волоки и в сторону оправки оказывается разной. Наружный контур волоки граничит с обоймой и волокодержателем, что позволяет отводить тепло. Оправка не имеет контура отвода тепла, поэтому поступившее тепло аккумулируется в течение цикла волочения. Процесс длительного накопления тепла мог бы закончиться расплавлением оправки, но при достижении определенной температуры устанавливается такой баланс теплопередачи, при котором часть тепла уносится заготовкой.

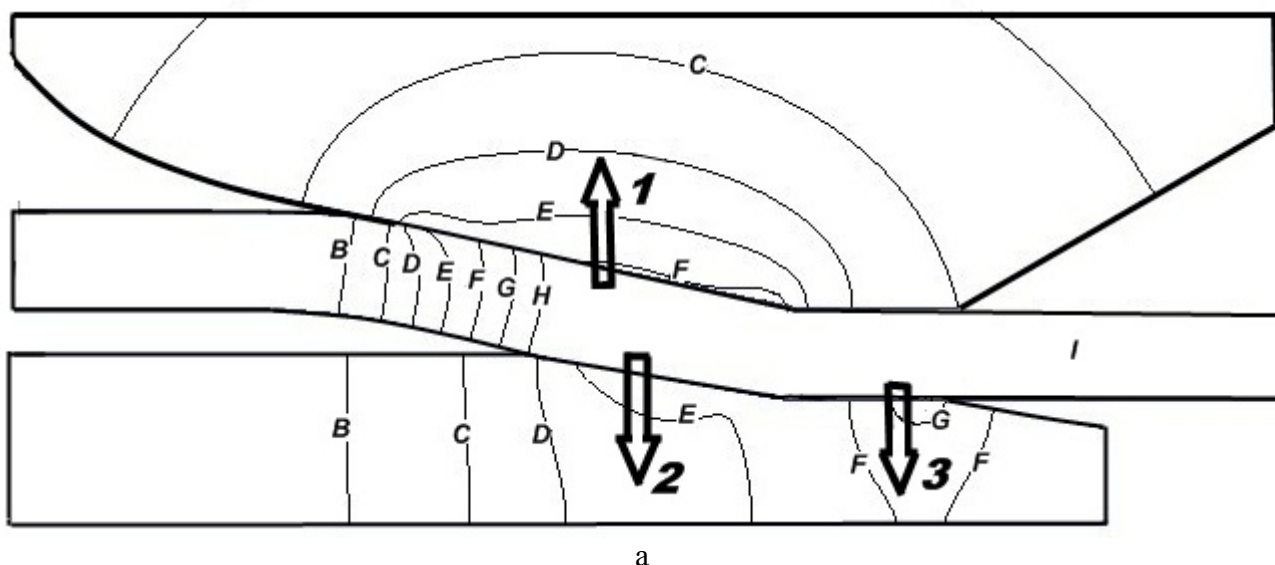


Рис. 2. Распределение температуры в заготовке и инструменте при волочении капиллярной трубы на самоустанавливающейся оправке (а) с направлениями теплоотвода: 1 – в сторону волоки; 2 и 3 – в сторону оправки; зона 4 износа и омеднения стальной оправки (б).

Обозначение температуры: А – 20 °С, В – 21,4 °С, С – 22,8 °С, D – 24,1 °С, E – 25,5 °С, F – 26,9 °С, G – 28,3 °С, H – 29,6 °С, I – 31 °С

Решение задачи показывает, что на начальном этапе волочения сильнее нагревается заготовка, от нее тепло передается в инструмент. У оправки наиболее нагретой частью является передняя часть, что с позиции напряженного состояния не очевидно – здесь не действуют слишком большие напряжения. На последующих этапах волочения роли должны поменяться: оправка по мере протягивания все большего количества заготовки должна прогреваться и взаимодействовать с более холодной заготовкой, однако положение источников тепла останется прежним.

Расчетами выявлено, что наиболее нагретой частью плавающей оправки является зона схода с ее поверхности заготовки, таким образом, именно здесь можно ожидать перегрева заготовки. Для доказательства этого на рис. 2б приведено фото оправки с характерной зоной износа и омеднения. Из сравнения двух рисунков следует, что зоны наибольшего нагрева и износа совпадают.

Таким образом, по длине поверхности оправки различен нагрев контактных поверхностей вследствие различия тепловыделения от работы пластической деформации и сил трения. Наличие постоянного и локализованного источника тепла вызывает постепенное повышение температуры инструмента, вследствие чего до большей температуры нагреваются порции металла, поступающие в очаг деформации. Известно, что процесс налипания меди на инструмент интенсифицируется при повышении температуры. Кроме того, температура в локальных участках инструмента может превысить температуру отпуска стали, что вызовет потерю прочности и твердости оправки, что, в свою очередь, повлияет на устойчивость процесса и качество капиллярных труб.

Список использованных источников

1. *Колмогоров В.Л.* Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров. М.: Металлургия, 1986. 688 с.
2. *Осинцев О.Е., Федоров В.Н.* Медь и медные сплавы / О.Е. Осинцев, В.Н. Федоров. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.
3. *Шапиро В.Я., Уральский В.И.* Бухтовое волочение труб. М.: Металлургия, 1972. 264 с.

БЕЗОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕРМООБРАБОТКА

© А.Д. Сумин, Н.Б. Лошкарев, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Значительные достижения металлургической промышленности в последние годы обусловлены использованием современных методов исследования и контроля, позволивших значительно углубить представления о металлургических процессах.

Несмотря на быстрое развитие новых отраслей промышленности, металлургия сохраняет и долго еще будет сохранять свое преимущественное положение в современной индустрии.

Существуют такие виды термической обработки, в которой не должна окисляться поверхность, т.е. обработка готовой продукции.

Термообработка, имеющая целью изменить структуру и свойства металла в требуемом направлении, широко применяется в машиностроении. Большинство изделий проката железоуглеродистых сплавов подвергается длительному отжигу в муфельных, шахтных, колпаковых, проходных печах с газовым или электрическим нагревом.