

УДК 621.774.7

Роганов Л. Л.
Пыц Я. Е.
Пыц Е. Я.
Пыц В. Я.

АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА ФРИКЦИОННОЙ ФОРМОВКИ ПОЛЫХ И СПЛОШНЫХ ЗАГОТОВОК БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА

Производство полых и сплошных изделий пластическим деформированием доступно достаточно широкому спектру способов и технологических приемов [1], позволяющих обеспечить повышение производительности, качества и эффективности труда, снижение расхода материалов и энергии, повышение качества выпускаемых деталей, снижение себестоимости изготовления такие изделия. Ротационная обкатка [2], как один из таких способов, эффективен при производстве деталей и полуфабрикатов в машиностроении типа полых корпусов фильтров и гидроцилиндров, переходов, баллонов, роликов, ленточных конвейеров и других полых осесимметричных деталей. Характерной особенностью процесса ротационной обкатки [3] является значительная доля работы трения при деформировании и в тепловом балансе заготовки. Превращение части механической энергии в тепловую энергию всегда сопутствует процессу трения. В подавляющем большинстве случаев выделение тепла при трении рассматривается как явление, безусловно, вредное и в технике с ним ведется борьба. Одним из положительных примеров выделения тепла при трении следует рассматривать использование теплоты трения для нагрева заготовок, что достаточно успешно используют при сварке трением и фрикционной формовке деталей различного профиля [4].

Целью настоящей работы является исследование влияния эффекта нагрева трением при фрикционной формовке полых и сплошных заготовок, в том числе без предварительного нагрева заготовки перед деформированием, а также совмещение процесса нагрева с процессом формовки заготовки.

Характер нагрева заготовки за счет сил трения при обкатке аналогичен нагреву заготовки при сварке трением. Методика нагрева при сварке трением изложена в специальной литературе [4, 5]. Эту методику можно применить для расчетов нагрева трением при обкатке трубчатых заготовок на роторной машине. Трение превращается в тепло, которое можно использовать при нагреве заготовки.

Тепловые процессы в заготовке при фрикционной формовке зависят от величины потерь тепла из-за конвекции, контактного теплообмена и теплопередачи от нагретой к не нагретой части заготовки [6]. Температура повышается за счет генерации тепла в результате работы, затрачиваемой на деформацию и трение между заготовкой и инструментом [7]. При деформировании потери и генерация тепла происходят одновременно. Существенное влияние на работу трения и генерацию тепловой энергии оказывают скорость скольжения заготовки по поверхности формирующего инструмента и контактное давление. Уравнение температурного баланса при фрикционной формовке можно представить в виде:

$$T^{i+1} = T^i + \Delta T_D^i + \Delta T_{TP} - \Delta T_{II}^i, \quad (1)$$

где T^i – температура заготовки в начале i -го оборота; ΔT_D^i – изменение температуры за счет энергии деформации на i -м обороте заготовки; ΔT_{II}^i – потери тепла в течение i -го оборота; ΔT_{TP}^i – изменение температуры за счет работы сил трения на i -м обороте заготовки.

Для анализа теплового состояния металла в ходе обработки фрикционной формовкой определяли потери тепла за время процесса и выясняли, какая часть энергии, затрачиваемой на трение, превращается в тепло и влияет на тепловое состояние металла в очаге деформации. Изменение температуры заготовки в результате потерь и генерации вычисляли независимо друг от друга.

Влияние скорости на коэффициент трения в самом общем виде может быть представлен в виде формулы [4]:

$$f = (a + b \cdot v) \cdot e^{-c \cdot v}, \quad (2)$$

где a , b , c , d – коэффициенты, зависящие от нормального давления, свойств материала, состояния поверхностей и другие факторы; v – линейная скорость скольжения.

Функция, представленная выражением (2), имеет максимум, положение которого по оси абсцисс определяется соотношением численных значений названных коэффициентов (рис. 1), смещение максимума под влиянием изменения приводит к тому, что в одном и том же интервале скоростей, но при разных давлениях, коэффициент трения либо увеличивается, либо уменьшается, либо практически не изменяется.

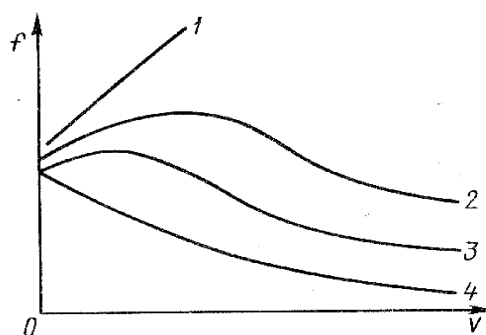
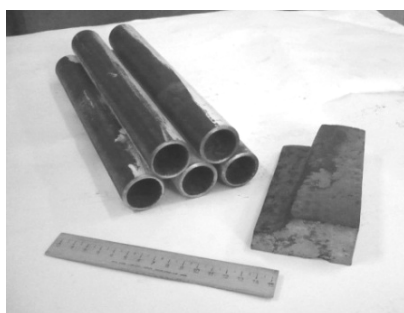


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения:
1 – малая нормальная нагрузка; 2, 3 – средняя нагрузка; 4 – большая нагрузка

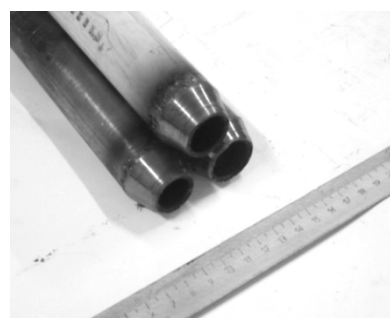
Для подтверждения правильности принятой математической модели был проведен постановочный эксперимент по определению влияния сил трения на температуру нагрева заготовки при фрикционной формовке.

Эксперимент проводился на токарном станке, в трехкулачковом патроне которого установлена и закреплена заготовка, а в резцедержателе суппорта закреплён фрикционный инструмент.

Для проведения эксперимента были выбраны стальные трубчатые заготовки $\varnothing 40$ мм с толщиной стенки 2 мм и фрикционный инструмент специальной формы (рис. 2, а). Заготовку закрепляли в трех кулачковом патроне станка, вращение которой обеспечивается приводом патрона.



а



б

Рис. 2. Заготовки и фрикционный инструмент (а) и изделия после формовки (б)

К вращающейся заготовке подводят фрикционный инструмент, закрепленный на поперечном суппорте станка. Во время контакта заготовки и фрикционного инструмента на поверхности контакта возникает сила трения, работа которой приводит к нагреву заготовки, что проявлялось в изменении цвета и температуры заготовки (рис. 3).

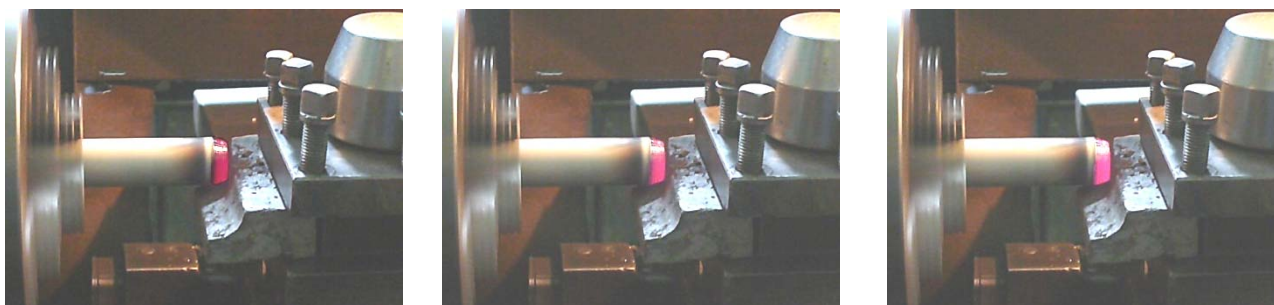


Рис. 3. Вид заготовки, нагретой до температуры 600, 800 и 900 °С

Скорость вращения заготовки во время проведения эксперимента изменяли дискретно, частота вращения составляла 500, 800 и 1250 1/мин.

Величину температуры на поверхности заготовки определяли оптическим пирометром ОППИР-09. Процесс нагрева заготовки при проведении эксперимента был зафиксирован на видеокамере модели DMC – LS60.

Результаты эксперимента занесены в табл. 1. Обработка данных выполнена методом линейного сглаживания по трем точкам, результаты обработки представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты эксперимента по фрикционному нагреву труб

Время, с	Частота вращения шпинделя, 1/мин								
	500			800			1250		
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	96	100	106	243	240	245	407	410	409
8	328	325	330	497	500	508	620	625	623
10	395	400	402	568	570	562	673	675	675
14	523	520	526	615	610	608	804	800	803
18	596	600	601	755	750	749	906	900	905
20	647	650	652	760	765	763	920	925	923
24	701	700	694	821	820	825	980	975	978
28	730	730	727	853	850	850	1047	1050	1048
30	748	750	755	864	860	858	1103	1100	1096

Таблица 2

Результаты эксперимента после обработки

Время, с	Частота вращения шпинделя, 1/мин		
	500	800	1250
0	20	20	20
4	101	243	409
8	328	502	623
10	399	567	674
14	523	611	802
18	599	751	904
20	650	763	923
24	698	822	978
28	729	851	1048
30	751	861	1100

По обработанным данным построены графики зависимости температуры поверхности заготовки от времени контакта заготовки с инструментом при различных частотах вращения заготовки рис. 4.

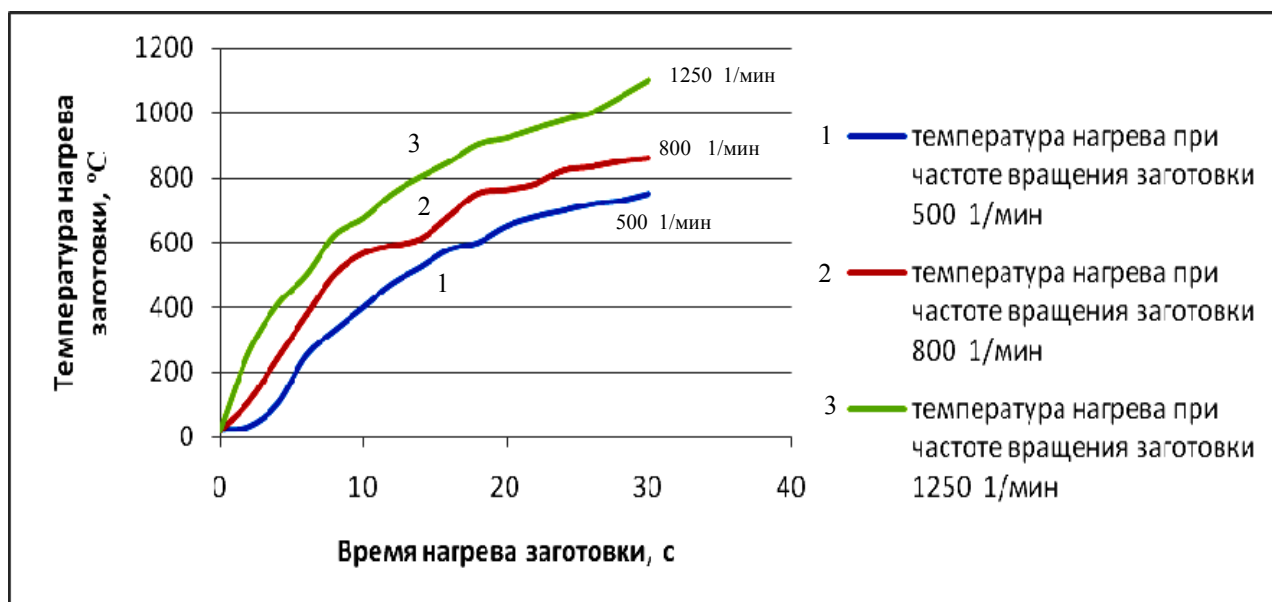


Рис. 4. Графики зависимости температуры нагрева от времени контакта заготовки с инструментом при различных скоростях вращения заготовки

Как видно из графика, температура, до которой нагревается заготовка за счет сил трения, лежит в интервале температурковки, и, следовательно, достаточна для деформации заготовки до требуемой формы без использования предварительного нагрева. Что также видно по полученным изделиям (см. рис. 2, б).

Для численной реализации методики расчета температурного поля трубчатой заготовки разработана программа для ПЭВМ (Project Temper), в которой реализованы рекомендации по оценке генерации тепла работ деформирования и трения и методика расчета тепловых потерь фрикционной формовке заготовок. Последнее позволило построить компьютерную модель процесса и рассчитать время нагрева заготовки до температуры, позволяющей успешно ее деформировать до заданной формы без предварительного нагрева. Также удалось определить возможное распределение температур по толщине заготовки. Результаты моделирования в части распределения температуры по толщине стенки полой заготовки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Распределение температуры по толщине стенки заготовки

Радиус слоя заготовки, мм	Температура слоя, К	Радиус слоя заготовки, мм	Температура слоя, К
20,0	1389	18,8	1039
19,8	1310	18,6	1010
19,6	1239	18,4	989
19,4	1177	18,2	977
19,2	1122	18,0	973
19,0	1077	—	—

ВЫВОДЫ

В процессе фрикционной формовки полых и сплошных заготовок инструментом трения происходит увеличение температуры деформируемой части заготовки за счет сил трения. Интенсивность генерируемого работой трения теплового потока высокая и достаточная для совмещения процесса деформирования с нагревом деформируемого участка трубчатой заготовки.

Величина теплового потока определяется линейной скоростью вращения заготовки, свойствами материала, состоянием поверхностей трения (коэффициент трения) и геометрическими размерами заготовки (радиус) и площади поверхности трения.

На основании анализа уравнений теплового баланса при фрикционной формовке определена величина работы трения, необходимая для нагрева заготовки, получена аналитическая зависимость для определения угла зоны нагрева заготовки при ротационной обкатке и рассчитана зона совмещенной обкатки с нагревом до заданной температуры.

Численная реализация методики расчета теплового поля позволила определить время нагрева заготовки до температуры пластического деформирования без принудительного нагрева, в том числе распределение температуры по толщине заготовки.

Принятая схема расчета адекватно подтверждается натурным экспериментом по фрикционной формовке конуса на конце полой заготовки Ø40 мм с толщиной стенки 2 мм без предварительного нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пыц Я. Е. Актуальные вопросы производства толстостенных изделий из труб ротационной обкаткой инструментом трения / Я. Е. Пыц // *Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : темат. сб. науч. трудов.* – Краматорск, 2002. – С. 290–292.
2. Капорович В. Г. Технологические особенности горячей обкатки толстостенных трубчатых заготовок / В. Г. Капорович, Я. Е. Пыц // *Кузнечно-штамповочное производство.* – 1992. – № 2. – С. 4–6.
3. Использование эффекта нагрева трением при обкатке трубчатых заготовок на роторной машине / Л. Л. Роганов, В. Г. Серeda, Я. Е. Пыц, О. О. Чудненко // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов.* – Краматорск, 2008. – № 1 (19). – С. 207–211.
4. Сварка трением : справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко, Р. Михальский и др.; под общ. ред. В. К. Лебедева, И. А. Черненко, В. И. Вилля. – Л. : Машиностроение, 1987. – 236 с.
5. Штернин Л. А. О расчете температурных полей при сварке трением / Л. А. Штернин // *Сварочное производство.* – 1966. – № 3. – С. 6–8.
6. Пыц Я. Е. Об учете тепловых потерь при обкатке толстостенных трубчатых заготовок / Я. Е. Пыц, С. Н. Оборнев // *Совершенствование процессов и машин обработки металлов давлением.* – К. : УМК ВО, 1988. – С. 96–101.
7. Определение температурных полей в заготовках простой геометрии при нагреве и охлаждении / В. И. Духовченко, А. И. Жидков, В. С. Пестов, Л. Н. Соколов // *Судостроительная промышленность. Металловедение.* – Металлургия, 1989. – Вып. 3. – С. 66–73.

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТО ДГМА;

Пыц Я. Е. – канд. техн. наук, доц. кафедры МТО ДГМА;

Пыц Е. Я. – аспирант ДГМА;

Пыц В. Я. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: evgenii_pyc@mail.ru