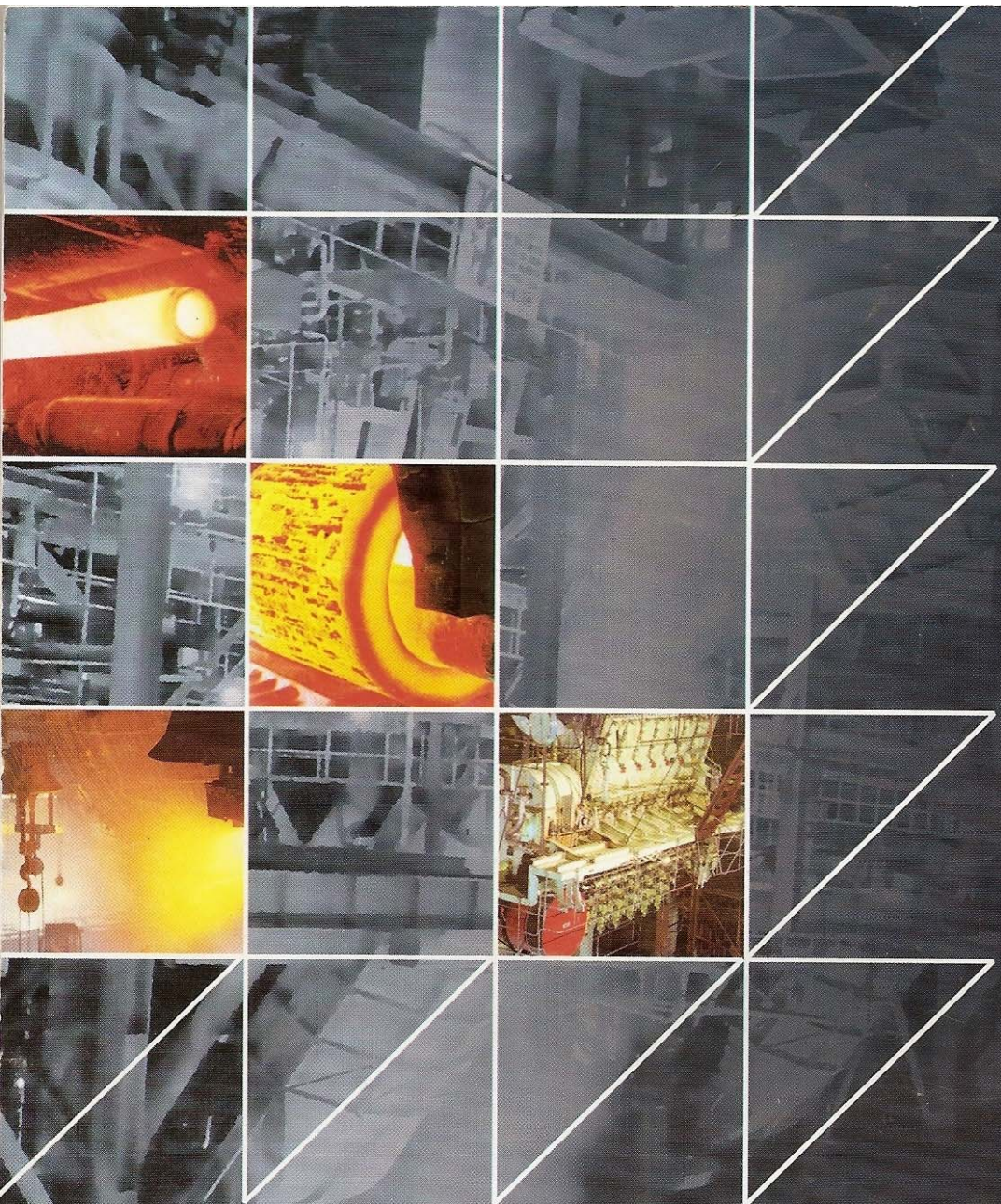


# ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ, ЛИТЕЙНОЕ И ДРУГИЕ ПРОИЗВОДСТВА



2004

4

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

ISSN 1684-1107

Председатель  
редакционного совета и  
Главный редактор  
СЕМЁНОВ Е.И.

Зам. председателя  
редакционного совета  
КОЛЕСНИКОВ А.Г.

Зам. Главного редактора  
КЛЕЙЗЕР П.Е.

Редакционный совет:

АНТОНОВ Е.А.  
БЕЛЯКОВ А.И.  
БОКОВ А.А.  
ГРОМОВ В.Е.  
ГУН И.Г.  
ДЕЛЮСТО Л.Г.  
ЖЕСТКОВА И.Н.  
КАПУСТИН А.И.  
КОШЕЛЕВ О.С.  
КРУК А.Т.  
КРЮЧКОВ М.А.  
ЛАВРИНЕНКО Ю.А.  
МОРОЗ Б.С.  
МУРАТОВ В.С.  
НАЗАРЯН Э.А.  
ПАСЕЧНИК Н.В.  
ПОВАРОВА К.Б.  
РОМАНОВ Л.М.  
РЫБКИН В.А.  
СЕМЁНОВ Б.И.  
СУБИЧ В.Н.  
ТРЕГУБОВ Г.П.  
ТРУХОВ А.П.  
ЯКОВЛЕВ С.П.  
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Ответственные за  
подготовку и выпуск  
номера:  
ДЮБКОВА Н.В.  
БЕЛАВЕНЦЕВ Р.Ю.  
СЕРИКОВА Е.А.

Журнал зарегистрирован  
в Государственном Комитете  
Российской Федерации по печати.  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-12218 от 29.03.02

За содержание рекламных  
материалов ответственность  
несет рекламодатель

Журнал распространяется по  
подписке, которую можно  
оформить в любом почтовом  
отделении (индекс по каталогу  
агентства "Роспечать" 81580, по  
Объединенному каталогу "Пресса  
России" 39205) или непосредственно  
в издательстве.  
Тел.: (095) 268 47 19, 268 69 19  
Факс: (095) 269 48 97  
Http://www.Mashin.ru  
E-mail: zpm@mashin.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

### Литейное и сварочное производства

- Семёнов Б.И., Куштаров К.М. Производство заготовок с тиксоструктурой – главное условие успеха промышленного освоения новых технологий . . . . . 3
- Солдатов В.Г., Кульбовский И.К. Применение модифицирования для повышения эксплуатационных свойств отливок из стали 20ГЛ . . . . . 15
- Ким Г.П. Медно-магниево-лигатуры – модификаторы чугуна . . . 18
- Куценко А.И., Тимонин С.А., Селянин И.Ф., Морин С.В., Хамитов Р.М. Статистическая обработка данных по производству литых валков на ОАО "КМК" . . . . . 19

### Кузнечно-штамповочное производство

- Полозин А.А., Шеффер Л.Т. Численная оценка тепловых потерь заготовки в опорное устройство, изготовленное из материала с неизвестными термофизическими свойствами . . . . . 23
- Ковалёв В.Г., Бодин В.В. Точность деталей, получаемых вытяжкой . . . . . 26

### Прокатно-волочильное производство

- Делюсто Л.Г. Исследование возможности повышения пластичности металлов воздействием магнитного поля и охлаждением жидким азотом в ходе обработки давлением . . . . 31
- Яковлев Р.А. Повышение надежности прокатных станов минимизацией зазоров в соединениях деталей и узлов (к 100-летию А.И. Целикова) . . . . . 40

### Материаловедение и новые материалы

- Маян С.Г., Агбальян С.Г., Андриасян А.В. Создание термомеханически упрочненных квазицементованных деталей с использованием двухслойных заготовок . . . . . 46

### Экономика, управление качеством и техническая информация

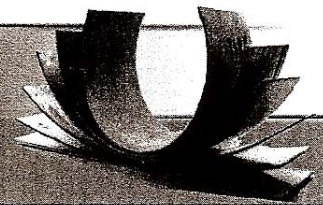
- Юркевич С.Н., Мышковец В.Н., Максименко А.В. Восстановление поверхности деталей из стали 30ХГСН2А лазерной сваркой . . . . . 51
- Калмакова А.В., Узинцев О.Е. Разработка новой методологии кинетического индентирования с использованием вычислительных систем . . . . . 52
- Крайнев А.Ф. Техника обработки материалов давлением (вкладка)

#### Журнал выходит при содействии:

Академии Проблем Качества Российской Федерации; Министерства промышленности, науки и технологий; Воронежского завода тяжелых механических прессов; ЦНИИЧермет; ВНИИМЕТМАШ; ИМЕТ РАН; Каширского завода "Центролит"; АМУРМЕТМАШ

При перепечатке материалов ссылка

на журнал "Заготовительные производства в машиностроении" обязательна



А.А. Полозин, Л.Т. Шеффер

(Центр Технологии UFRGS – Лаборатория механических преобразований, Бразилия)

## Численная оценка тепловых потерь заготовки в опорное устройство, изготовленное из материала с неизвестными термофизическими свойствами\*

*Эксперименты по определению термических параметров материала поковки являются основой для создания базы данных, необходимой для компьютерного моделирования процессов пластической деформации заготовки при ее обработке давлением.*

*Обычно эксперименту подвергается образец, изготовленный из того же материала, что и поковка. В процессе эксперимента всегда происходит передача теплоты от нагретого образца в устройство, фиксирующее образец, т.е. в опору. Важно точно оценить величину тепловых потерь для ее последующего использования в расчетах термических параметров материала заготовки.*

*Данная статья описывает способ определения потерь теплоты от нагретого образца в опору, изготовленную из материала с неизвестными термофизическими свойствами.*

*Experiments for determining the thermic parameters of the material of a forged workpiece create a necessary database to simulate a process of the plastic deformation while treating the workpiece with pressure.*

*A specimen, being subjected to an experiment, usually is made with the same material as the real forged workpiece. There is always the heat transfer from the heated specimen to the support device which holds fixed this specimen. It is important to estimate exactly the quantity of heat losses for its next use in the calculation of thermic parameters of the workpiece material.*

*This paper describes a method to determine the heat losses arising from the workpiece to the support device made with material having unknown thermophysical properties.*

Образец в процессе эксперимента по определению термических параметров всегда находится в контакте с опорным устройством, что приводит к потере тепловой энергии вследствие теплопроводности. Тепловые потери  $q_{cond}$  образца за единицу времени вследствие теплопроводности могут быть представлены в соответствии с законом Фурье [3] в следующей форме:

$$q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлено опорное устройство;  $A$  – площадь теплопередачи вследствие теплопроводности;  $\frac{dT}{dx}$  – градиент температур  $dT$  в направлении  $x$  теплопередачи.

В общем случае затруднительно или даже невозможно получить точное значение коэффициента  $k$  из

\* Данное исследование выполнено при содействии и финансовой поддержке Национального Комитета по развитию Науки и Технологии (CNPq) Бразилии.

литературных источников. Также достаточно сложно измерить градиент температур в теле опорного устройства. Эти затруднения наряду с некоторыми другими обязывают исследователей применять специальные методики проведения эксперимента с целью уменьшения тепловых потерь вследствие теплопроводности и в итоге пренебрегать ими.

Например, в экспериментах британских исследователей (С.С. Chang and A.N. Bramley) [2] нагретый образец малой массы удерживался в подогретых клещах, оборудованных термопарой, на протяжении всего времени регистрации данных процесса охлаждения. Очевидно, что описанный способ несовершенен по причине игнорирования теплообмена между образцом и массивными клещами. Также очевидно, что время проведения эксперимента не могло быть продолжительным, а полученные результаты не могли быть особо точными.

Целью данного исследования является оценка тепловых потерь нагретого образца в результате контакта с опорным устройством. Для достижения поставленной цели применена специальная методика, разработанная

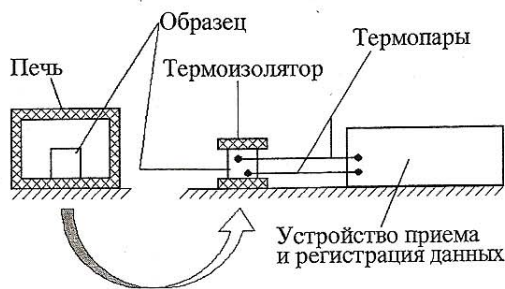


Рис. 1. Схема базового эксперимента

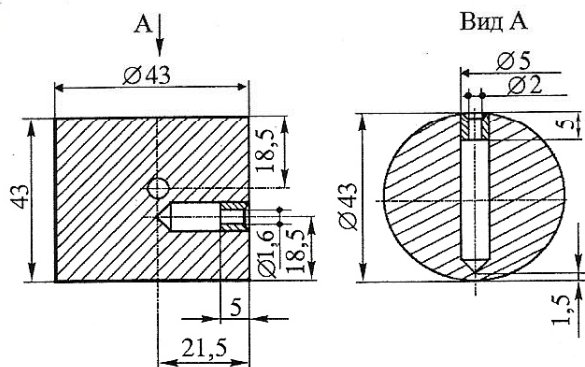


Рис. 2. Образец

в Центре Технологий UFRGS, которая заключается в сопоставлении тепловых потоков двух идентичных образцов, охлаждаемых в различных условиях. Способ оценки тепловых потерь базируется на экспериментальных данных, полученных в результате проведения двух экспериментов: базового и дополнительного, описание которых приводится ниже.

Схема базового эксперимента, реализованного в Центре Технологий UFRGS, представлена на рис. 1. После монтажа экспериментальной установки образец (рис. 2) из алюминиевого сплава АВNT 6061 (соответствует алюминиевому сплаву АД33) вместе с двумя закрепленными в нем термопарами типа "К" помещали в печь, предварительно нагретую до 570 °С.

В эксперименте ось цилиндрического образца ориентирована вертикально. Отверстия в теле образца предназначены для помещения в них термопар с целью замеров температур на его поверхности и в его центре. Термопары подключали к устройству "Spider8", принимающему и регистрирующему данные.

Температуру внутри печи контролировали при помощи внутренних температурных датчиков, температуру образца — при помощи закрепленных в нем термопар. В процессе нагрева температура образца повышалась до (560 ± 15) °С на протяжении двух часов.

По завершении нагрева образец вместе с термопарами переносили на лабораторный стол и помещали между двумя подогретыми пластинами теплоизолятора типа amianto, имитирующими матрицы в реальном производстве. Предварительный подогрев пластин не является абсолютно необходимым, но позволяет

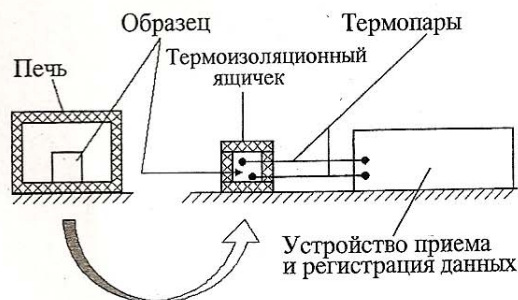


Рис. 3. Схема дополнительного эксперимента

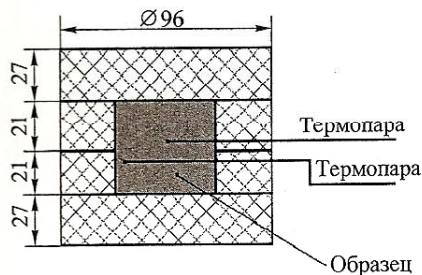


Рис. 4. Образец в термоизоляционном ящике

придать кривым охлаждения образца форму, облегчающую последующие расчеты.

В описанной позиции образец охлаждался на протяжении 0,5 ч благодаря теплопроводности, излучению и естественной конвекции. В процессе охлаждения значения температур  $T$  на поверхности и в центре образца регистрировали с частотой 1/с как функция времени  $t$ :  $T = T(t)$ .

Дополнительный эксперимент, схема которого представлена на рис. 3, отличается тем, что по завершении нагрева образец вместе с термопарами переносили на лабораторный стол и помещали в подогретый термоизоляционный ящик (рис. 4), изготовленный из теплоизолятора типа amianto, где образец охлаждался на протяжении 1,6 ч благодаря теплопроводности материала ящика. В процессе охлаждения значения температур  $T$  на поверхности и в центре образца также регистрировали.

### Оценка тепловых потерь образца в термоизоляционные пластины

Для оценки тепловых потерь образца в термоизоляционные пластины необходимо сопоставить общие потери теплоты образцом в базовом и дополнительном экспериментах.

При расчетах приняты допущения:

- Поток теплоты из образца в опорное устройство много меньше общего теплового потока из образца.
- Средняя температура образца равна среднему арифметическому значению температуры на поверхности образца и в его центре.

В соответствии с законом сохранения энергии общие потери теплоты образцом в единицу времени могут быть представлены в следующей форме.

Для базового эксперимента:

$$Q_{базисо} = q_{cond} + q_{rad} + q_{conv} = m C_p \frac{dT_{(базисо)}}{dt}, \quad (2)$$

где  $Q_{базисо}$  – общий тепловой поток из образца в окружающую среду в базовом эксперименте;  $q_{cond}$  – тепловой поток из образца в термоизоляционные пластины вследствие теплопроводности;  $q_{rad}$  – тепловой поток из образца в окружающую среду вследствие тепловой радиации;  $q_{conv}$  – тепловой поток из образца в окружающую среду вследствие конвекции;  $m$  – масса образца;  $C_p$  – удельная теплоемкость образца;  $T_{(базисо)}$  – средняя температура образца в базовом эксперименте;  $t$  – время охлаждения образца;  $\frac{dT_{(базисо)}}{dt} = v_{базисо}$  – скорость охлаждения образца в базовом эксперименте.

Для дополнительного эксперимента:

$$Q_{адисонол} = m C_p \frac{dT_{(адисонол)}}{dt} = K q_{cond}, \quad (3)$$

где  $Q_{адисонол}$  – общий тепловой поток из образца в окружающую среду в дополнительном эксперименте;  $q_{cond}$  – тепловой поток из образца в фрагмент оболочки термоизоляционного ящичка, соответствующий по своему размеру площади контакта образца с термоизоляционными пластинами в базовом эксперименте;  $K$  – геометрический фактор: коэффициент пропорциональности между размером общей площади образца, контактирующей с термоизоляционным ящичком, и частью этой площади, соответствующей по своему размеру площади контакта образца с термоизоляционными пластинами в базовом эксперименте;  $\frac{dT_{(адисонол)}}{dt} = v_{адисонол}$  – скорость охлаждения образца в дополнительном эксперименте.

Разделив уравнение (2) на уравнение (3) и заменив в полученном выражении соответствующие скорости охлаждения образцов на их значения, получим формулу для оценки потока теплоты из образца в термоизоляционные пластины

$$\frac{Q_{базисо}}{Q_{адисонол}} = \frac{q_{cond} + q_{rad} + q_{conv}}{K q_{cond}} = \frac{v_{базисо}}{v_{адисонол}}, \quad (4)$$

или

$$q_{cond} = Q_{базисо} \frac{v_{адисонол}}{K v_{базисо}}. \quad (5)$$

Для применения формулы (5) в расчетах необходимо включить в нее скорости охлаждения образцов  $v_{адисонол}$  и  $v_{базисо}$ . Для получения скоростей охлаждения используют экспериментальные кривые охлаждения образцов в

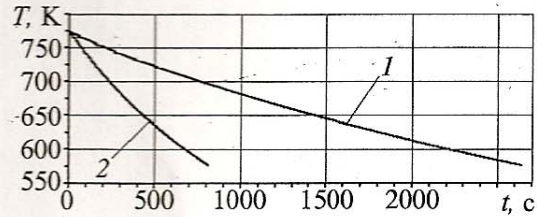


Рис. 5. Экспериментальные кривые охлаждения образцов: 1 – дополнительный эксперимент; 2 – базовый эксперимент

базовом и дополнительном экспериментах, представляющие функциональную зависимость  $T(t)$ : средней температуры  $T$  образцов от времени их охлаждения  $t$ .

Экспериментальные кривые охлаждения образцов, представленных на рис. 5. Анализ кривых охлаждения, представленных на рис. 5, показывает, что скорости охлаждения образцов, т.е. первые производные функций  $T(t)_{базисо}$  и  $T(t)_{адисонол}$ , берутся для любого момента времени охлаждения  $t$  при неодинаковых температурах охлаждаемых образцов:  $T_{базисо} \neq T_{адисонол}$ . И необходимо выполнить дополнительную операцию нормализации температур.

С целью сопоставить скорости охлаждения образцов при одинаковых температурах  $T_{базисо} = T_{адисонол}$  необходимо преобразовать функции  $T(t)_{базисо}$  и  $T(t)_{адисонол}$  в инверсные функции:  $t(T)_{базисо}$  и  $t(T)_{адисонол}$ . Результаты данного преобразования представлены на рис. 6.

Инверсные кривые позволяют оценить время  $t$ , необходимое для изменения температуры  $T$  каждого из образцов на один Кельвин, т.е. позволяют сопоставить скорости охлаждения образцов для каждого значения их средней температуры  $T$ . С учетом изложенного уравнение (5) преобразуется в следующую окончательную форму

$$q_{cond} = \frac{1}{K} Q_{базисо} \frac{\left(\frac{dt}{dT}\right)_{базисо}}{\left(\frac{dt}{dT}\right)_{адисонол}}, \quad (6)$$

или, для частного случая при  $K = 3$ , что продиктовано геометрией образца

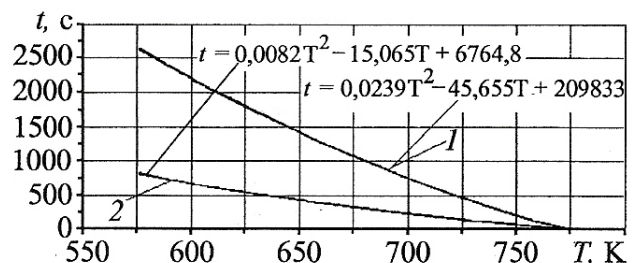


Рис. 6. Экспериментальные кривые охлаждения образцов, представленные в инверсной форме: 1 – дополнительный эксперимент; 2 – базовый эксперимент

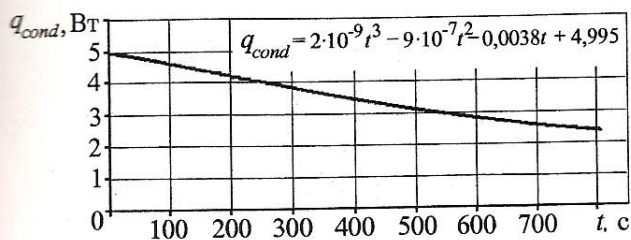


Рис. 7. Расчетная кривая тепловых потерь образца в опорное устройство (для базового эксперимента)

$$q_{cond} = \frac{1}{3} Q_{базисо} \frac{0,0164 T - 15,065}{0,0478 T - 45,655} \quad (7)$$

Описанная методика определения тепловых потерь образца в опорное устройство позволяет получать точные результаты, представленные ниже в графической форме на рис. 7.

Расчеты, произведенные по формуле (7), показали, что максимальные и минимальные тепловые потери в опорное устройство составляют соответственно 10 и 9% от  $Q_{базисо}$ .

#### Заключение

Представленная в статье методика оценки тепловых потерь заготовки в опорное устройство применена в Центре Технологий UFRGS для обработки данных в экспериментах по определению термических параметров металлов и сплавов в интервале температур 300...900 °С.

Полученные результаты (излучательная способность, коэффициент теплопередач путем конвекции) для алюминиевого сплава АВNT 6061 и для углеродистой стали SAE 1045 (соответствует стали 45) хорошо совпадают с данными литературы [1], [4], [5], [6], [7], [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антощенко Ю.М. Напряжения горячего металла от деформации при ковке. Электросталь: Электростальский политехнический институт филиал МГИСиС, 2003. Disponível em: <www.elcomet.narod.ru/omd/omd\_2.htm>. Acesso em: 23 abr. 2003.
2. Chang C.C., Bramley A.N. Determination of heat transfer coefficient at the work piece-interface for the forging process // Journal of Engineering Manufacture. 2002. Vol. 216. № 8. P. 1179-1185.
3. Frank Kreith. Principios da Transmissão de calor. 2-nd. ed. São Paulo: Eduard Blucher LTDA, 1977. P. 5-10.
4. Hottel H.C., Sarofim A.F. Radiative Transfer. N. Y.: McGraw-Hill, 1967. P. 19-159.
5. Incropera F.P., Dewitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. N. Y.: John Wiley & Sons, Inc. 1996. P. 815.
6. Irving Granet P.E. Thermodynamics and heat Power. 3-rd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1985. P. 723.
7. James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson. Fundamentals of momentum, Heat and Mass Transfer. 3-rd ed. N. Y.: John Wiley & Sons, 1984. P. 441.
8. Schaeffer L. Conformação Mecânica. Porto Alegre: Imprensa Livre, 1999. P. 47.

Александр Адамович Полозин, инженер;  
Лирио Теобальдович Шеффер, д-р техн. наук

В.Г. Ковалёв (МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
В.В. Бодин (ФГУП "Комета", Москва)

## Точность деталей, получаемых вытяжкой

### Сообщение 3\*

*В статье представлены используемые в производстве данные о точности поперечных размеров и высоты деталей с фланцем и без фланца. Приведены формулы для определения исполнительных размеров инструмента, обеспечивающих указанную точность, а также точность, превосходящую на 1...2 качества по внутреннему или внешнему диаметру деталей.*

*This article shows the data on precision of cross and height dimensions of the details made by drawing with/without flange. Formulas for definition the instrument's working sizes giving required precision are given. Also the way to improve the dimension's for 1...2 acceptance criterias is described.*

Точность деталей, изготавливаемых вытяжкой, зависит от следующих параметров конструкции детали и технологии производства: коэффициента вытяжки, механических свойств штампуемого материала, геометрии детали, относительной толщины заготовки, усло-

вий формообразования (температуры инструмента и заготовки, трения на матрице и пуансоне), качества поверхности заготовки, конструкции и точности штампа, износа пуансона и матрицы и, конечно, технологического процесса изготовления детали.

До настоящего времени еще не выполнены обстоятельные исследования условий образования точности

\* [Сообщение 1, 2] см. № 12, 2003 г.; № 2, 2004 г.