

УДК 621.73.079, 621.73.043

## АНАЛИЗ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ ОПЕРАЦИЙ ОТРЕЗКИ И НАГРЕВА ЗАГОТОВОК ИЗ СОРТОВОГО ПРОКАТА КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Телегин И.В., Володин И.М.

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,  
Липецк, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

В работе приводятся результаты исследования влияния на металлоёмкость технологического процесса изготовления поковок на кривошипных горячештамповочных прессах точности диаметра сортового проката, точности нарезанных из него заготовок и способа их нагрева. Приведены оригинальные зависимости, связывающие эти параметры с массой штампуемых поковок. Предложены критерии, позволяющие оценить металлоёмкость технологического процесса горячей объёмной штамповки круглых в плане поковок, и программа для ЭВМ, позволяющая рассчитать эти критерии. Важнейшей особенностью методики расчёта параметров заготовок, реализованной в предложенном программном решении, является возможность определения их геометрических параметров и количественной оценки потерь металла с учётом включённых в программное решение баз данных геометрических параметров сортового проката круглого сечения, а также баз статистических данных о точности отрезаемых заготовок при использовании различного оборудования и потерях металла вследствие угара при их нагреве.

**Ключевые слова:** горячая штамповка, металлоёмкость, заготовка, поковка

## ANALYSIS OF THE METAL CONSUMPTION OF OPERATIONS PARTING AND HEATING BLANKS FROM ROLLED BAR ROUND SECTION

Telegin I.V., Volodin I.M.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

The paper presents results of a study the effects on metal consumption of the technological process of manufacturing of forgings on hot-crank press, precision diameter of rolled bar, precision cut pieces out of it, and their method of heating. Presents original dependences linking these parameters with the mass of stamped forgings. The criteria to assess the metal consumption of process hot die forming round forgings and the computer program that allows you to calculate these criteria. The most important feature of the method of calculating the parameters of blanks realized in the proposed software solution is the ability to determine their geometric parameters and quantification of metal loss in view of the included in software solution databases of geometrical parameters of rolled bar round section, as well as statistical databases on the accuracy of the cut pieces using various equipment and metal loss due to waste of metal when heated.

**Keywords:** hot forming, metal consumption, blank, forging

Металлоёмкость технологического процесса – это количество материала, необходимое для изготовления готового изделия. В случае производства металлических изделий машиностроения стоимость металла составляет значительную часть от стоимости всего изделия.

Очевидны следующие направления снижения металлоёмкости детали:

- изменение конструкции самой детали;
- уменьшение доли отходов металла, возникающих в связи с её производством.

Статья посвящена исследованию второго направления применительно к процессам производства стальных деталей круглых в плане (осесимметричных) методом горячей объёмной штамповки (ГОШ) на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) с последующей механической обработкой.

Определим следующие понятия:

1. Минимально допустимая масса заготовки – масса заготовки, позволяющая в рамках данного технологического про-

цесса ГОШ получить бездефектную поковку. При массе заготовки ниже допустимого значения гарантировано возникновение дефектов, связанных с незаполнением гравюра штампа окончательного перехода.

2. Коэффициент металлоёмкости технологического процесса изготовления детали – отношение массы заготовки к массе готовой детали:

$$cK_M = \frac{M_3}{M_d} \geq 1; \quad mK_M = \frac{M_{\max}}{M_d} \geq 1, \quad (1)$$

где  $M_3$ ,  $M_{\max}$  – средняя и максимальная массы заготовки;  $M_d$  – масса детали. Очевидно, чем больше  $cK_M$  и  $mK_M$ , тем менее эффективен технологический процесс.

Критерии металлоёмкости (1) выгодно отличаются от других подобных [2, 6, 7], поскольку позволяют более точно оценить влияние параметров технологического процесса ГОШ на общую металлоёмкость всего процесса изготовления детали.

На практике, как правило, заполнение гравюры штампа окончательного перехода осуществляется одновременно с образованием обляя при открытой штамповке или заполнением компенсатора при закрытой штамповке. В результате определить минимальную массу поковки (и заготовки соответственно) можно лишь или экспериментально, или путём численного моделирования. В данной работе для моделирования процессов ГОШ используется программа QForm 7.24 [1]. В качестве примера на рис. 1 и 2 показаны технологические переходы ГОШ круглой в плане

поковки детали «Шестерня» [черт. 17, 3], и результаты расчёта минимальной высоты заготовки (условная) в предположении точно соответствуют номинальному диаметру сортового проката, из которого заготовка изготавливается.

Следует отметить, что известны технологические процессы ГОШ, содержащие три формообразующих перехода, у которых формирование обляя осуществляется на предварительном переходе, затем обрезка и окончательная штамповка [7]. В этом случае минимальная масса поковки определяется на предварительном переходе.



Рис. 1. Деталь «Шестерня» и технологические переходы изготовления её поковки

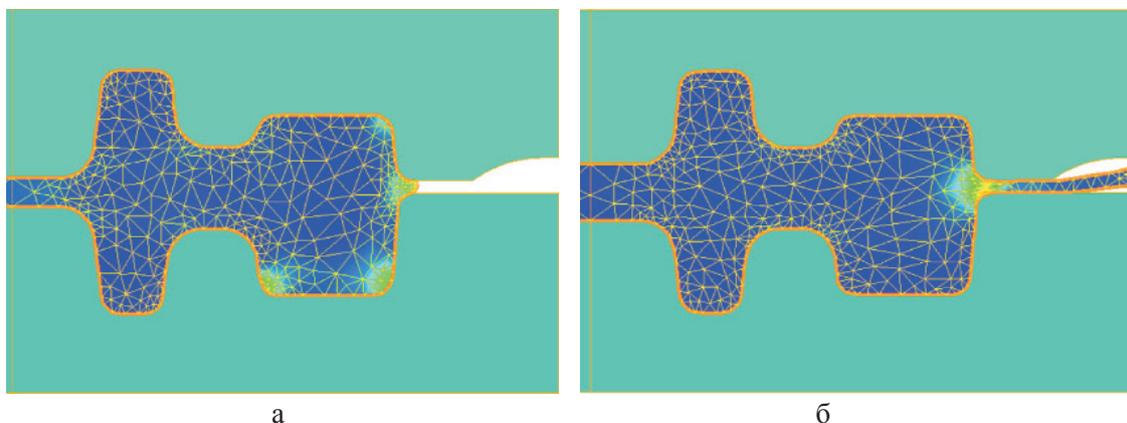


Рис. 2. Окончательный штамповочный переход при условной высоте заготовки: а – 101,5 мм; б – 109,75 мм

Наряду с потерями металла при реализации процессов ГОШ, связанных с угаром, довольно существенными могут оказаться потери вследствие назначения припусков на длину заготовки для компенсации:

- отклонений диаметра сортового проката от номинального значения;
- неточностей при отрезке заготовки.

В таблице приведены данные исследования влияния различных факторов на металлоёмкость ГОШ поковки детали «Шестерня», показанной на рис. 1.

Из анализа полученных результатов следует, что:

- точность проката, способ нагрева и отрезки заготовки оказывают заметное влияние на металлоёмкость технологического процесса ГОШ;
- величина соотношения длины ( $L_3$ ) и диаметра ( $D_3$ ) заготовки значительного влияния на металлоёмкость процесса ГОШ

не оказывает. В то же время прослеживается устойчивая тенденция к увеличению металлоёмкости с уменьшением отношения высоты к диаметру заготовки.

Реальные длина ( $L \pm \Delta$ ) и диаметр ( $D_{D_{\min}}^{D_{\max}}$ ) заготовки, полученной из сортового проката круглого сечения, не являются константами. Точность заготовки  $\Delta$  зависит от способа её отрезки (ножницы для резки сортового проката, отрезка в штампе, ножовочно-отрезной станок и др.) и предполагается известной [4]. Отклонения диаметра заготовки ( $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ) от номинального значения ( $D$ ).

Потери массы заготовки при её нагреве ( $U_{\min}$ ,  $U_{\max}$ ) зависят от способа нагрева (пламенный на природном газе, пламенный на мазуте, индукционный), времени, температуры нагрева, материала заготовки, измеряются в процентах от её массы и также считаются известными [4].

Результаты исследования влияния параметров заготовки на коэффициенты металлоёмкости ГОШ ( $cK_M$  и  $mK_M$ )

| Параметр  | Отношение $\frac{L_3}{D_3}$ |                |                |                |                |                |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 2,3                         | 2,1            | 1,8            | 1,58           | 1,45           | 1,33           |
| Точность прокатки: А1, Б1, В1, А01, А2, В2.<br>Нагрев пламенный на природном газе. Отрезка на сортовых ножницах |                             |                |                |                |                |                |
| А1  | 1,760<br>1,818              | 1,760<br>1,820 | 1,760<br>1,822 | 1,765<br>1,825 | 1,765<br>1,827 | 1,765<br>1,830 |
| Б1  | 1,770<br>1,843              | 1,770<br>1,843 | 1,770<br>1,845 | 1,776<br>1,847 | 1,776<br>1,848 | 1,776<br>1,850 |
| В1  | 1,776<br>1,855              | 1,776<br>1,855 | 1,776<br>1,856 | 1,781<br>1,857 | 1,781<br>1,859 | 1,781<br>1,860 |
| А2  | 1,760<br>1,818              | 1,760<br>1,820 | 1,760<br>1,822 | 1,765<br>1,825 | 1,765<br>1,828 | 1,765<br>1,830 |
| В2  | 1,792<br>1,880              | 1,792<br>1,879 | 1,792<br>1,879 | 1,792<br>1,879 | 1,792<br>1,880 | 1,792<br>1,881 |
| Способ нагрева заготовки.<br>Точность прокатки Б1. Отрезка на сортовых ножницах                                 |                             |                |                |                |                |                |
| Индукционный  | 1,743<br>1,803              | 1,743<br>1,804 | 1,743<br>1,805 | 1,743<br>1,807 | 1,743<br>1,809 | 1,743<br>1,811 |
| Пламенный на природном газе   | 1,770<br>1,843              | 1,770<br>1,843 | 1,770<br>1,845 | 1,776<br>1,847 | 1,776<br>1,848 | 1,776<br>1,850 |
| Пламенный на мазуте   | 1,787<br>1,861              | 1,787<br>1,862 | 1,787<br>1,863 | 1,787<br>1,865 | 1,787<br>1,867 | 1,787<br>1,869 |
| Способ отрезки заготовки.<br>Точность прокатки Б1. Нагрев пламенный на природном газе                           |                             |                |                |                |                |                |
| На сортовых ножницах  | 1,770<br>1,843              | 1,770<br>1,843 | 1,770<br>1,845 | 1,776<br>1,847 | 1,776<br>1,848 | 1,776<br>1,850 |
| На ножовочно-отрезных станках   | 1,765<br>1,832              | 1,765<br>1,831 | 1,765<br>1,831 | 1,765<br>1,831 | 1,765<br>1,831 | 1,765<br>1,832 |

На первом этапе разработки технологического процесса ГОШ, включающего осадку, предварительную и окончательную штамповку, решается вопрос о выборе размеров заготовки. Исходными данными для этого являются минимальный объём поковки ( $V_{\min}$ ) и её диаметр ( $D_3$ ). Масса заготовки и её объём связаны очевидной зависимостью  $M_{\min} = V_{\min} \cdot \rho$ , где  $\rho$  – плотность материала поковки. Объём заготовки ( $V_3$ ), её диаметр ( $D_3$ ) и длина ( $L_3$ ) должны удовлетворять следующим соотношениям [5]:

$$1,25 \leq \frac{L_3}{D_3} \leq 2,5; \quad V_3 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} L_3, \quad (2)$$

где объём и длина заготовки могут принимать значения от  $V_{\min}$ ,  $L_{\min}$  до  $V_{\max}$ ,  $L_{\max}$  соответственно. Диаметр заготовки ( $D_3$ ) считается величиной постоянной, значение которой обычно принимается равным но-

минальному диаметру соответствующего размера сортового проката, из которого изготавливается заготовка, или уменьшенным на величину угара.

Можно показать, что если минимальный и максимальный диаметры прутка  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$ , то соответствующие диаметры заготовки

$$d_{\min} = D_{\min} \cdot \sqrt{1 - 0,01 \cdot U_{\max}}; \\ d_{\max} = D_{\max} \cdot \sqrt{1 - 0,01 \cdot U_{\min}}. \quad (3)$$

Минимальная длина заготовки с учётом угара при минимальном диаметре прутка, в пределах допуска на его изготовление:

$$l_{\min} = \frac{4 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{\max}) D_{\min}^2}. \quad (4)$$

Максимальный объём заготовки с учётом допуска на её диаметр и длину:

$$V_{\max} = 0,25 \cdot \pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{\min}) \cdot D_{\max}^2 \cdot (l_{\min} + 2 \cdot \Delta),$$

или поле подстановки выражения для  $l_{\min}$  и преобразований:

$$V_{\max} = \frac{(1 - 0,01 \cdot U_{\min}) \cdot D_{\max}^2 \cdot V_{\min}}{(1 - 0,01 \cdot U_{\max}) \cdot D_{\min}^2} + 0,5 \cdot \pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{\min}) \cdot \Delta \cdot D_{\max}^2. \quad (5)$$

Предельные значения длин заготовки ( $L_{\min}$  и  $L_{\max}$ ) диаметром  $D_3$ :

$$L_{\min} = \frac{4 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_3^2}; \quad L_{\max} = \frac{2 \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{\min}) \cdot D_{\max}^2}{D_3^2} \left( \Delta + \frac{2 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot (1 - 0,01 \cdot U_{\max}) \cdot D_{\min}^2} \right). \quad (6)$$

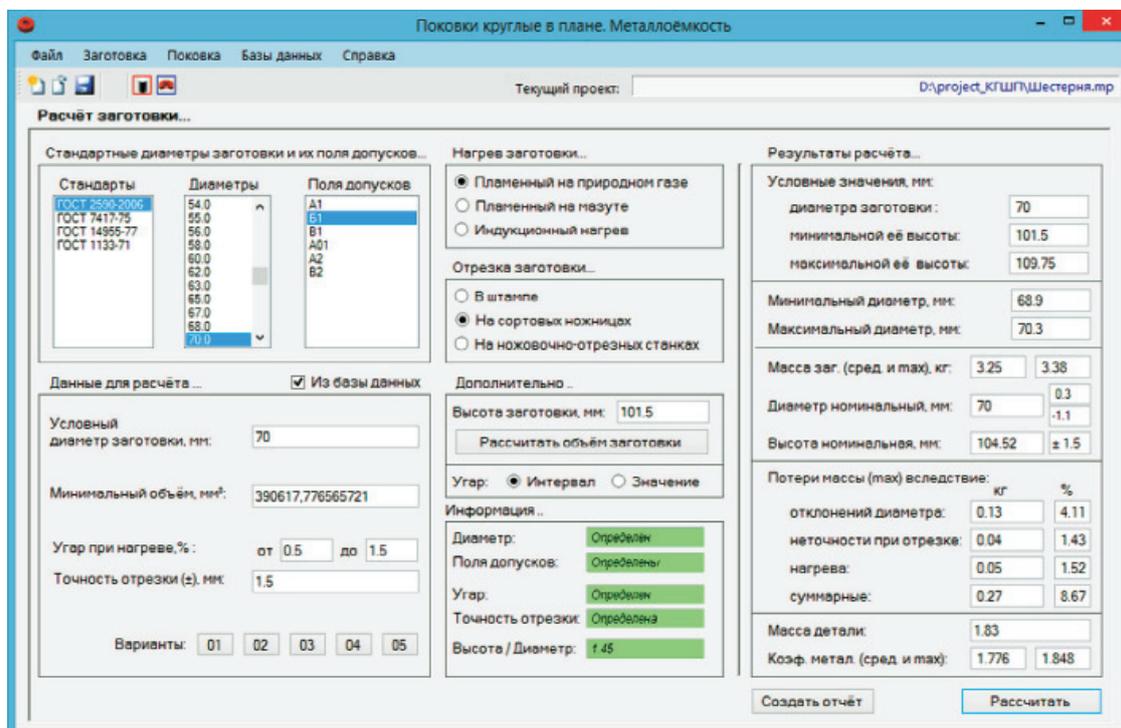


Рис. 3. Автоматизация процесса расчёта параметров заготовки

Значения  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  и  $D_3$  будем называть условными. Это те параметры заготовки, которые используются в последующих расчётах ГОШ.

Размеры и масса (минимальная, максимальная и средняя) реальной заготовки, полученной после её отрезки:

$$L_3 = \frac{4 \cdot (1 + 0,01 \cdot U_{\max}) \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D^2} + \Delta \pm \Delta;$$

$$M_{\min} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (L_3 - \Delta) \cdot \rho;$$

$$M_{\max} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (L_3 + \Delta) \cdot \rho;$$

$$M_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_3 \cdot \rho. \quad (7)$$

Расчёт параметров заготовки в соответствии с зависимостями (2)–(7) автоматизирован. На рис. 3 представлено окно программы [8] расчёта параметров заготовки.

Для работы программы необходимо выбрать требуемый стандарт, определяющий параметры сортового проката, номинальный диаметр и его точность, указать минимальную длину заготовки, рассчитанную по методике, представленной на рис. 2, способ нагрева и отрезки. В результате вычислений будут получены условные значения минимальной и максимальной длин заготовки, необходимые для моделирования технологического процесса ГОШ в программе QForm [1], номинальная высота заготовки и её точность, а также рассчитаны коэффициенты металлоёмкости в соответствии с (1) и потери массы вследствие неточностей диаметра, погрешностей отрезки заготовки и угара металла при нагреве заготовки.

#### Список литературы

1. Биба Н.В. Qform – программа, созданная для технологов / Н.В. Биба, С.А. Стебунов // КИП. ОМД. – 2004. – № 9. – С. 38–41.
2. ГОСТ 18970-84. Обработка металлов давлением. Термины и определения. Операцииковки и штамповки.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски
4. Ковка и объёмная штамповка: справочник. В 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 2010. 720 с.: ил.

5. Ковка и объёмная штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объёмная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е.И. Семёнова. – М.: Машиностроение, 2010. – 720 с.: ил.

6. Телегин В.В. Объектно-ориентированный подход и его компьютерная реализация в задачах исследования динамики механизмов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4 (3). – С. 623–628.

7. Телегин И.В. Исследование и совершенствование технологического процесса горячей объёмной штамповки круглых в плане поковок / И.В. Телегин, И.М. Володин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 4 (5). – С. 1310–1312.

8. Телегин И.В., Володин И.М. Поковки круглые в плане (осесимметричные). Анализ металлоёмкости: св. о гос. рег. прог. для ЭВМ Росс. Фед. № 2014661697 от 16.09.2014. Дата поступления 11.11.2014.

#### References

1. Biba N.V. Qform – programma, sozdannaja dlja tehnologov. Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo, 2004, no. 9, pp. 38-41.
2. GOST 18970-84. Obrabotka metallov davleniem. Terminy i opredelenija. Operacii kovki i shtampovki.
3. GOST 7505-89. Pokovki stalnye shtampovannye. Dopuski, pripuski i kuznechnye napuski.
4. Semjonov E.I. Kovka i objomnaja shtampovka: spravochnik. V 1. Materialy i nagrev. Oborudovanie. Kovka. Moscow, Mashinostroenie, 2010, 720.
5. Semjonov E.I. Kovka i objomnaja shtampovka: spravochnik. V 2. Gorjachaja objomnaja shtampovka. Moscow, Mashinostroenie, 2010, 720.
6. Telegin V.V. Obektno-orientirovannyj podhod i ego kompjuternaja realizacija v zadachah issledovanija dinamiki mehanizmov. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 12, no. 4(3), pp. 623–628.
7. Telegin I.V., Volodin I.M. Issledovanie i sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa gorjachej objomnoj shtampovki kruglyh v plane pokovok [Research and improvement technology of hot die forging process round in plan view forgings]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 14, no. 4(5), pp. 1310–1312.
8. Certificate 2014661697 Russian Federation. Certificate on the state registration of the computer program. Pokovki kruglye v plane (osesimmetrichnye). Analiz metalloemkosti. author I.V. Telegin (RU), I.M. Volodin (RU). applicant and owner Lipetsk State Technical University (LSTU) (RU). no. 2014661697; it is declared 16.09.2014; it is published 11.11.2014, Registry of the computer programs, 1 page.

#### Рецензенты:

Корнеев А.М., д.т.н., директор института машиностроения, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Лебедев С.В., д.т.н., профессор, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.