

Моделирование технологического процесса поперечно-клиновой прокатки заготовки для горячей объемной штамповки коленчатого вала

© М.Г. Алленов, О.А. Белокуров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрены технологические процессы получения коленчатого вала с применением операции гибки, а также выбор поперечно-клиновой прокатки как способа получения предварительной заготовки. В программе Qform выполнены моделирование процесса клиновой прокатки предварительной заготовки с учетом разных условий трения и проверка адекватности формулы для определения трения на контактных поверхностях инструмента.

Ключевые слова: поперечно-клиновая прокатка, горячая объемная штамповка, коленчатый вал.

Коленчатый вал — одна из важнейших деталей двигателя внутреннего сгорания, воздушного компрессора, насоса и т. д. Его надежность и долговечность влияют на безаварийность и безотказность работы этих устройств. В связи с современными тенденциями создания двигателей с увеличенными сроками эксплуатации выдвигаются высокие требования к прочности и износостойкости коленчатых валов. Износостойкость и долговечность работы шеек коленчатого вала зависят от волокнистого строения металла. В течение длительного времени на кафедре «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся исследования штамповки поковок с направленным волокнистым строением [1– 4].

Например, технологический процесс горячей объемной штамповки поковок коленчатого вала [5] с использованием операции гибки, при котором волокнистое строение повторяет контур поковки, включает в себя следующие операции:

- формирование шатунных шеек;
- зажим шатунных шеек и гибка коленчатого вала;
- предварительная формовка щек и противовесов коленчатого вала;
- окончательная формовка коленчатого вала;
- обрезка.

Исследования [2– 4] доказали возможность использования этого процесса при штамповке поковок коленчатых валов.

Анализ зарубежной литературы подтверждает актуальность работы в этом направлении. Различают несколько методов получения направленного волокнистого строения металла:

- 1) TR-method [6, 7];
- 2) forging with flexible forming tool [8–10];
- 3) binding with upsetting [11].

Однако метод получения предварительной заготовки в виде ступенчатого вала, и особенно шатунных шеек, под последующую гибку в данных указанных изданиях не исследован.

В настоящей работе проведено моделирование технологического процесса поперечно-клиновой прокатки предварительной заготовки в виде ступенчатого вала. Исследуемый процесс состоит из следующих операций:

- получение шатунных шеек и ступенчатых элементов вала поперечно-клиновой прокаткой;
- зажим шатунных шеек и гибка коленчатого вала;
- окончательная формовка коленчатого вала.

Основным качественным критерием оценки правильности математической модели при исследовании поперечно-клиновой прокатки является получение дефектов, приведенных в литературе (рис. 1) и подтвержденных на практике [12]. Дефекты клиновой прокатки подразделяют на шесть категорий (рис. 1, а). Все они обусловлены неравномерностью деформации (потеря формы, образование шейки), течением металла (образование разрыва) и внедрением инструмента в поверхность заготовки.

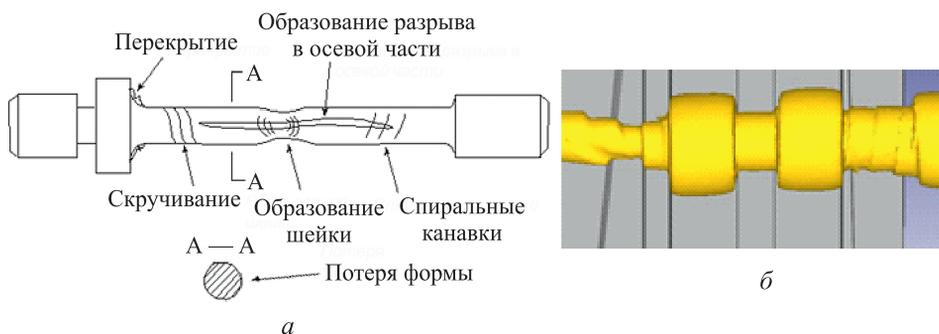


Рис. 1. Дефекты при клиновой прокатке:
 а — теоретические исследования; б — компьютерное моделирование

В процессе проведения моделирования удалось выявить практически все указанные дефекты. Результат моделирования приведен на рис. 1, б. Разрыв в осевой части можно получить только с использованием модели разрушения методом конечных элементов в программах Deform и Qform.

Объектом исследования был выбран технологический процесс, рассмотренный в работе [2]. Цель моделирования — получение заготовки для коленчатого вала. Заготовка для последующей операции

гибки представлена на рис. 2. Необходимо получить данную заготовку без дефектов, выбрав оптимальные параметры инструмента и задав коэффициент трения для боковой поверхности клина.

Одним из важнейших параметров при моделировании данного процесса является значение коэффициента трения, который, в свою очередь, зависит от состояния поверхности инструмента. Используем условный коэффициент трения, который зависит от профиля рифления и состояния его поверхности [13]:

$$M_{\text{экв}} = \frac{1 - \mu \operatorname{tg} \varphi}{\mu + \operatorname{tg} \varphi},$$

где μ — коэффициент трения на поверхности рифления; φ — угол заострения профиля рифления.

После проведения моделирования (рис. 3) в программном комплексе Qform выявлено, что расчет коэффициента трения по приведенной формуле существенно влияет на моделирование процесса клиновой прокатки. В первых вариантах моделирования образовалось большое количество складок при внедрении ножевого участка в заготовку.

В последующих вариантах уменьшение наклонных поверхностей и установка рассчитанного коэффициента трения обеспечило наиболее оптимальные параметры: угол наклона поверхностей $\alpha = 80^\circ$, длина ножевой части $L_n = 42$ мм, длина зоны удлинения $L_{z,y} = 215$ мм. Однако в этом случае на поверхности шейки заготовки отмечаются спиральные канавки от движения инструмента (рис. 4).

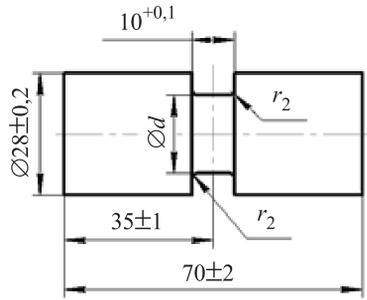


Рис. 2. Заготовка, получаемая клиновой прокаткой

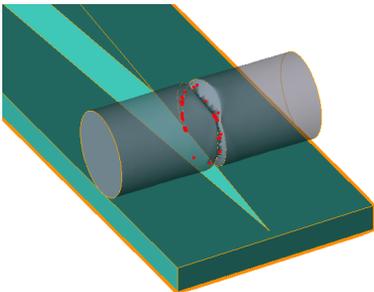


Рис. 3. Образование складок и зажимов на начальном этапе

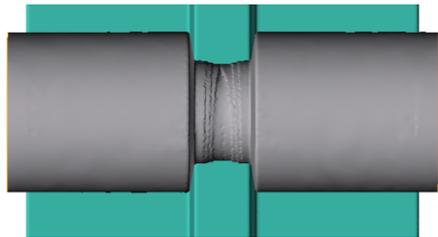


Рис. 4. Образование спиральных канавок

В результате получена математическая модель для исследования процесса поперечно-клиновой прокатки заготовки для коленчатого вала. Выбрана и апробирована формула для расчета коэффициента трения на боковых поверхностях клина. Рассмотрено влияние угла наклона клиньев на протекание процесса клиновой прокатки. Выявлены недостатки математической модели без учета критериев разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Банных О.А., Белокуров О.А., Блинов В.М. и др. Штамповка поковок с направленным волокнистым строением. *Вестник машиностроения*, 2000, № 10, с. 33–37.
- [2] Майстров Ю.В., Белокуров О.А. Экспериментальные исследования и оптимизация операции гибки при штамповке коленчатых валов. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2011, № 10, с. 17–21.
- [3] Майстров Ю.В. Исследование операции гибки при штамповке коленчатых валов с помощью компьютерного моделирования. *Известия вузов. Машиностроение*, 2011, № 9, с. 37–43.
- [4] Семенов Е.И., Майстров Ю.В. Новая заготовительная операция гибки для штамповки коленчатых валов. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2011, № 9, с. 15–18.
- [5] Семенов Е.И., Крук А.Т., Соков В.И., Дибнер Ю.А., Мороз В.Я., Переверзевцев С.Н. *Способ изготовления коленчатого вала*. Пат. 2247623 Российская Федерация, МПК В21К001/08. № 2002135252/02; заявл. 24.12.02; опубл. 10.03.05, бюл. № 7, 7 с.
- [6] Adolf W.W. Neuere Entwicklungen bei geschmiedeten Kraftfahrzeug-Kurbelwellen. *Schmiede-Journal*, September 2001, pp. 14–17.
- [7] Walczyk W., Milenin A., Pietrzyk M. Computer Aided Design of New Forging Technology for Crank Shafts. *Steel research*, int. 82. 2011, no. 3.
- [8] Boyer B., Massoni E. Advanced Technology of Plasticity. *Proc. 6th ICTP Nuremberg*, 1999, pp. 347–352.
- [9] Behrens B.-A., Doege E., Reinsch S., Telkamp K., Daehndel H., Specker A. Precision forging processes for high-duty automotive components. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, pp. 139–140.
- [10] Alves L.M., Martins P.A.F. Flexible forming tool concept for producing crankshafts. *Journal of Materials Processing Technology*, 2011, pp. 467–474.
- [11] United States Patent Ruget. 451 Mar. 21, 1972 541. *Apparatus for forging*. 2,534,613 12/1950 Meley.29/6 *Crankshafts and the like* 2,747,253 5/1956 Conchon.29/6.
- [12] Kache H., Stonis M., Behrens B.-A. Development of a warm cross wedge rolling process using FEA and downsized experimental trials. *Prod. Eng. Devel.*, 2012, pp. 44–46.
- [13] Кашеев В.И. *Процессы в зоне фрикционного контакта металлов*. Москва, Машиностроение, 1978, 212 с.

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Алленов М.Г., Белокуров О.А. Моделирование технологического процесса поперечно-клиновой прокатки заготовки для горячей объемной

штамповки коленчатого вала. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 10.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/fte/1422.html>

Алленов Максим Геннадьевич — ассистент кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: okdell@mail.ru

Белокуров Олег Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Simulation of the process of cross-wedge rolling of billet for crankshaft hot forging

© M.G. Allenov, O.A. Belokurov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article covers technological processes of crankshaft production using bending operation. It also describes a procedure of selection of cross-wedge rolling as a method of producing a preform. We used Qform program to model the preform wedge rolling process taking into consideration different friction conditions and to check adequacy of the formula to determine the friction on the contact surfaces of the tool.

Keywords: cross-wedge rolling, hot forging, crankshaft.

REFERENCES

- [1] Bannykh O.A., Belokurov O.A., Blinov V.M., et al. *Vestnik Mashinostroeniya — Interbranch Scientific and Technical Magazine “Vestnik Mashinostroeniya”*, 2000, no. 10, pp. 33–37.
- [2] Maystrov Yu.V., Belokurov O.A. *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii — Blanking Productions in Mechanical Engineering*, 2011, no. 10, pp. 17–21.
- [3] Maystrov Yu.V. *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 9, pp. 37–43.
- [4] Semenov E.I., Maystrov Yu.V. *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii — Blanking Productions in Mechanical Engineering*, 2011, no. 9, pp. 15–18.
- [5] Semenov E.I., Kruk A.T., Sokolov V.I., Dibner Ju.A., Moroz V.Ja., Pereverzentsev S.N. *Sposob izgotovleniya kolenchatogo vala* [Crank shaft forming method] Patent 2247623 Russian Federation. No. 2002135252/02; application 24.12.02; date of publication 10.03.05, bull. no. 7, 7 p.
- [6] Adolf W.W. *Neuere Entwicklungen bei geschmiedeten Kraftfahrzeug-Kurbelwellen. Schmiede-Journal*, September 2001, pp. 14–17.
- [7] Walczyk W., Milenin A., Pietrzyk M. Computer Aided Design of New Forging Technology for Crank Shafts. *Steel research*, int. 82. 2011, no. 3.
- [8] Boyer B., Massoni E. *Advanced Technology of Plasticity. Proc. 6th ICTP Nuremberg*, 1999, pp. 347–352.
- [9] Behrens B.-A., Doege E., Reinsch S., Telkamp K., Daehndel H., Specker A. Precision forging processes for high-duty automotive components. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, pp. 139–140.
- [10] Alves L.M., Martins P.A.F. Flexible forming tool concept for producing crankshafts. *Journal of Materials Processing Technology*, 2011, pp. 467–474.
- [11] United States Patent Ruget. 451 Mar. 21, 1972 541. *Apparatus for forging*. 2,534,613 12/1950 Meley.29/6 Crankshafts and the like 2,747,253 5/1956 Conchon.29/6.
- [12] Kache H., Stonis M., Behrens B.-A. Development of a warm cross wedge rolling process using FEA and downsized experimental trials. *Prod. Eng. Devel.*, 2012, pp. 44–46.
- [13] Kashcheyev V.I. *Protssessy v zone friktsionnogo kontakta metallov* [Processes in the area of frictional contact of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978, 212 p.

Allenov M.G., assistant lecturer at the Department of Technology of Mechanical Engineering at Bauman Moscow State Technical University. e-mail: okdell@mail.ru

Belokurov O.A., Cand. Sci. (Eng.), associate professor at the Department of Technology of Mechanical Engineering at Bauman Moscow State Technical University.