

УДК 621.7

Чухлеб¹ В.Л., к.т.н., доц.; Клемешов¹ Е.С.; Гринкевич¹ В.А., д.т.н., проф.; Дья² Х., д.т.н., проф.; Ашкелянec¹ А.В.
к.т.н., доц.

1 - Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепрпетровск, Украина;

2 - Политехника Ченстоховска, г. Ченстохова, Польша

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКРИВЛЕНИЯ ПОКОВКИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT-6 В ПРОЦЕССЕ КУЗНЕЧНОЙ ВЫТЯЖКИ

Chuhleb¹ V., Klemeshov¹ E., Grinkevich¹ V., Dyja² H., Ashkeljanec¹ A.

1 - National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine (e-mail – cv11@mail.ru);

2 - Polytechnic Czestochowa, Czestochowa, Poland

STUDY OF THE CURVATURE OF FORGING FROM TITANIUM ALLOY IN THE PROCESS OF FORGING

В работе рассмотрено формоизменение титанового сплава VT-6 путем математического моделирования при кузнечной вытяжке по разным схемам ковки в комбинированных бойках. Основной целью исследования ставилась задача оптимизация получения прямолинейности поковки при реализации протяжки по разным схемам для возможности автоматизации режимов деформирования и снижения необходимости последующей правки. Результатом работы является получение данных об искривлении поковки относительно оси зоны деформации в межбойковом пространстве и анализ причин его вызывающих.

Ключевые слова: искривление, деформация, ковка, протяжка, сечение

Введение. Операция кузнечной вытяжки является одной из самых основных операций свободнойковки. При этом всегда при ее выполнении встает вопрос о необходимости вести технологический процессковки таким образом, чтобы в процессековки получали высокое качество изделия при одновременном использовании рациональной схемыковки. Одним из параметров оптимальности ведения процесса протяжки является прямолинейность получаемой поковки после протяжки при одновременной минимальной неравномерности распределения деформации по сечению поковки. Эти вопросы частично уже освещены в имеющейся литературе. Так в [1] показаны результаты компьютерных расчетов напряжений, возникающих в поковках при протяжке. Показано, что схема напряженного состояния способствует появлению внутренних разрушений в поковках при ковке. При этом в работе [2] рассматриваются вопросы влияния технологических факторов на течение металла при кузнечной протяжке бойками, обеспечивающими дополнительные деформации сдвига в поперечной плоскости заготовки. Проведенное планирование эксперимента для образцов с координатной сеткой позволило выявить среди этих факторов наиболее существенные и получить уравнение, описывающее их связь с углом закручивания волокна относительно продольной оси заготовки. Результатами этих и других работ являются работы по оптимизации всего процесса протяжки [3] и разработка в целом в [4] системы управления качеством проектирования технологических процессовковки. Алгоритмы проектирования технологических процессовковки крупногабаритных поволовок приведены в [5]. Также существующие технологические процессы изготовления валов и инновационные технологии показаны в работе [6]. Однако, как это часто случается, при множестве мнений до сих пор нет однозначного ответа – как все же ее вести для получения наиболее качественного продукта – поковки. Существует несколько схем протяжки (кузнечной вытяжки). Каждая из них реализуется при использовании известных основных технологических параметровковки.

Задачей данного исследования являлась оценка результатов математического моделирования процесса протяжки при свободнойковке титанового сплава VT-6 на прессе с применением комбинированных бойков.

Целью данной работы являлось изучение влияния схем кантовок поковки на искривление её в продольном направлении с целью изучения возможности автоматизации процесса и уменьшения затрат на последующую правку поковки. В этой работе целью исследования ставилось также определение показателей деформированного и температурного состояния при реализации различных предложенных схем протяжки путем математического моделирования в программном продукте «FORGE2008».

Исследования проводились совместно с сотрудниками Ченстоховского политехнического университета в рамках договора о сотрудничестве с НМетАУ.

Изложение основного материала исследования. Для моделирования процесса свободнойковки в компьютерной программе Forge 2008® были заданы параметры реального процессаковки поковок из титанового сплава BT-6. Исходной заготовкой являлся слиток из титанового сплава BT-6 диаметром 400 мм и длиной 1450 мм. Масса исходного слитка составляла 790 кг.

Также, согласно технологическому процессу выбран оптимальный температурный интервалковки для данного сплава титана. Температурный интервалковки находился в пределах 1150 - 850°C. В соответствии с технологиейковки титановых сплавов необходим подогрев инструмента для уменьшения тепловых потерь приковке. В данном случае, бойки подогревались до температуры 300°C. При моделировании использовались комбинированные бойки – верхний плоский, а нижний вырезной. Развал выреза нижнего бойка составлял 450 мм, а глубина выреза 160 мм. Также общим параметром для всех процессов была величина относительной подачи, которая составляла 0,5.

Для определения степени искривления заготовки было предложено сравнить смещение центра сечений относительно центра сечения, находящегося под бойками. Через центр сечения под бойками («основное сечение») была проведена линия, которая проходила через три дополнительных поперечных сечения (№ 1, 2, 3), расположенных вдоль уже откованной части заготовки (рис. 1). Начало данной линии находится в центре «основного» сечения и расположено параллельно оси X. В данном исследовании измерение величины смещения проводилось в абсолютных величинах (в миллиметрах) по горизонтальной (ось Z) и вертикальной (ось Y) составляющей. На рисунках 2-5 показаны две координатные оси (ось Y и Z), при чем штриховыми линиями указаны координаты центральной оси поковки, а сплошными – центр текущего сечения.

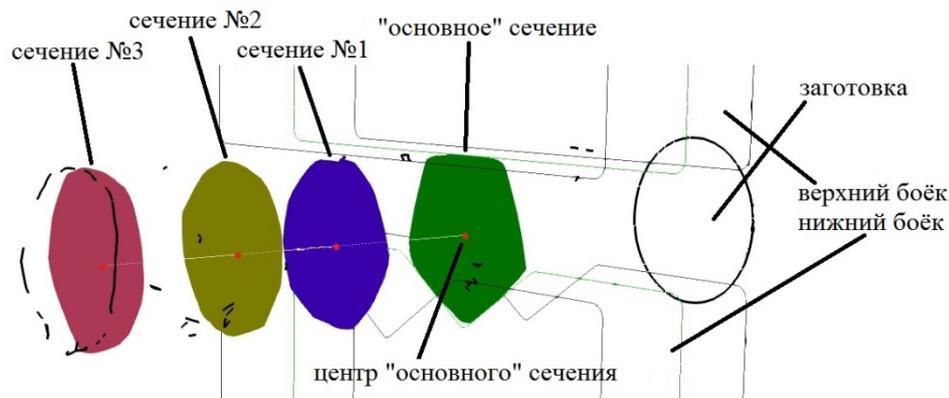


Рис. 1. Расположение поперечных сечений в исследуемой поковке

Первой была исследована схема кантовок (схема 1), которая представляла собой схему обжатий «по винту» и состояла из четырёх проходов по длине (угол кантовки составлял 60°). Степень деформации за одно обжатие составляла 10%. Рассмотрим искривление поковки при данной схемековки. Как видно из рисунка 2 (б-г), центр поковки, при удалении от «основного» сечения, смещается вдоль оси Z на 3 мм в сечении №1 и на 22 мм в сечении №2, а в сечении №3 на 32 мм. Вдоль вертикальной оси Y, относительно центра «основного» сечения, центр сечения №1 сместился незначительно, а центр сечения №2 и №3 сместился на 12,5 мм и 3 мм соответственно. Данная схемаковки имеет хорошие результаты прямолинейности заготовки приковке, однако имеет и несколько отрицательных моментов. Одним из отрицательных моментов схемыковки № 1, является низкая равномерность распределения деформаций в металле (рис. 2). Вторым отрицательным моментом данной схемыковки является плохое качество поверхности, на которой образуются выступы, которые приводят к увеличенным затратам при последующей правке. Также большим недостатком является значительное количество проходов по длине, при которых возможно получение круглого сечения.

В связи с вышеперечисленными недостатками была предложена другая схема кантовок (схема 2), которая представляла собой схему обжатий «по кольцу» и состояла из 6 обжатий с разными углами кантовки. Схема кантовок состоит из двух обжатий с кантовками по 120°, затем трёх обжатий с кантовками по 60°. Данная схема кантовок была исследована при степени деформации за обжатие 20% и 30%. Рассмотрим искривление поковки при данной схемековки при 20% деформации. На рисунке 3 представлено распределение деформаций и температур, а также смещение центральной оси поковки в разных сечениях.

При рассмотрении сечений №1, №2 и №3 (рис. 3), видно, что смещение центральной оси поковки происходит как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. В сечении №1 смещение центра по осям Y и Z равно 16,7 мм и 9,6 мм соответственно. В сечении №2 смещение центра по осям Y и Z равно 17,5 мм и 34,9 мм соответственно. В сечении №3 смещение центра по осям Y и Z равно 16 мм и 38,5 мм соответственно.

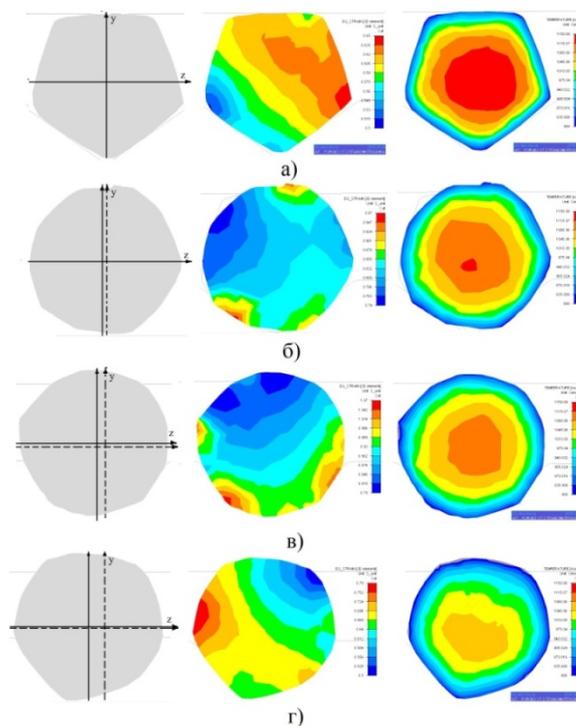


Рис. 2. Смещение центральной оси поковки, а также распределение деформаций и температур в «основном» сечении (а), в сечении №1 (б), в сечении №2 (в), в сечении №3 (г) при ковке по схеме 1

Данная схема ковки обеспечивает ту же степень искривления, что и при ковке по схеме 1, однако данная схема имеет лучшие показатели состояния поверхности и показатели равномерности распределения деформаций.

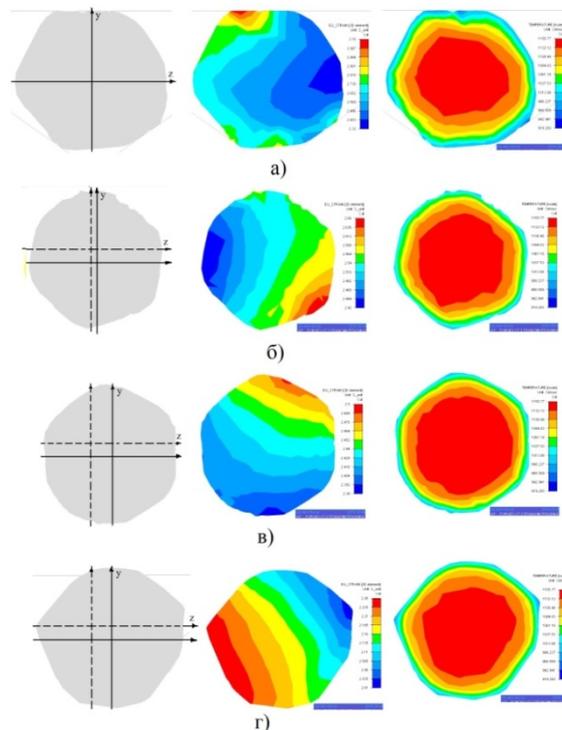


Рис. 3. Смещение центральной оси поковки, а также распределение деформаций и температур в «основном» сечении (а), в сечении №1 (б), в сечении №2 (в), в сечении №3 (г) при ковке по схеме 2 при 20% деформации

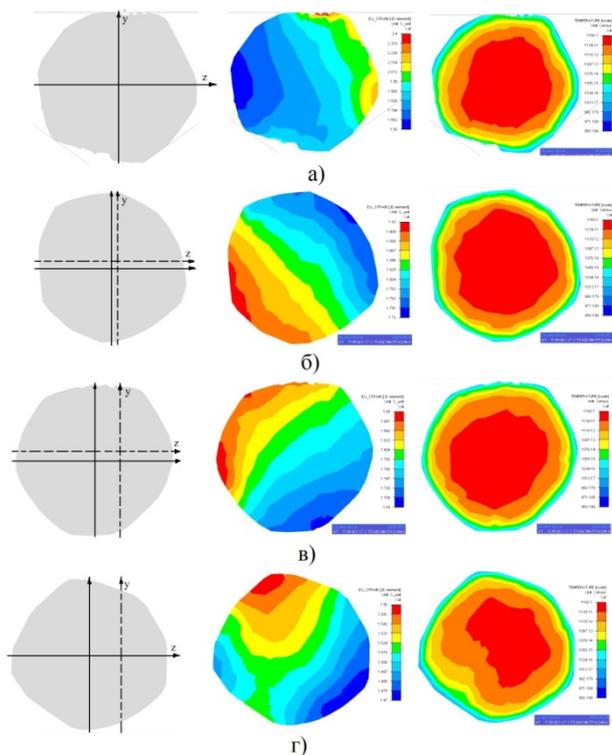


Рис. 4. Смещение центральной оси поковки, а также распределение деформаций и температур в «основном» сечении (а), в сечении №1 (б), в сечении №2 (в), в сечении №3 (г) при ковке по схеме 2 при 30% деформации

Данная схема зарекомендовала себя как наиболее оптимальная, с точки зрения искривления заготовки, равномерности распределения деформаций, а так же состояния поверхности поковки. Далее рассмотрим искривление поковки при ковке по схеме 3. На рисунке 5 представлено распределение деформаций и температур, а также смещение центральной оси поковки в сечениях №1, №2 и №3 при ковке по схеме 3.

Как видно из рисунка 5, смещение центральной оси поковки практически отсутствует, и происходит только в вертикальном направлении, то есть вдоль оси Y, что свидетельствует о смещении самой центральной оси на определённый угол. Соответственно, в сечении № 1 смещение равно 8 мм, в сечении №2 смещение равно 14,5 и в сечении №3 смещение равно 22,5 мм. Величины смещения сечений друг относительно друга практически равны, что подтверждает утверждение о повороте центральной оси заготовки в вертикальной плоскости.

При использовании данной схемыковки удалось добиться наиболее приближенного по форме к кругу сечения, по сравнению с предыдущими схемамиковки, а также наиболее оптимального состояния поверхности металла и наименьшей неравномерности распределения деформаций [7].

Далее рассмотрим искривление поковки при ковке по схеме 2 при 30% деформации за обжатие. На рисунке 4 представлено распределение деформаций и температур, а также смещение центральной оси поковки в сечениях №1, №2 и №3 при ковке по схеме 2 при 30% деформации.

Как видно из рисунка 4, смещение центральной оси поковки происходит наиболее сильно из-за высокой степени деформации за обжатие. Соответственно, смещение центральной оси заготовки в сечении №1 по оси Y и Z составляет 14,9 мм и 12,2 мм. В сечении №2 смещение центра по осям Y и Z составляет 18,8 мм и 45 мм соответственно. В сечении №3 смещение центра по осям Y и Z составляет 2 мм и 67 мм соответственно. Такие величины смещения центра поковки по осям объясняется высокой скоростью истечения металла верхней части заготовки на одном из обжатий и форма сечения поковки приближается к треугольному. Равномерность распределения деформаций и температур осталось на том же уровне, как и при ковке по схеме 2 при 20% деформации.

Для того, чтобы уменьшить неравномерность распределения деформаций и, соответственно, уменьшить искривление заготовки, была предложена схемаковки (схема 3), которая представляет из себя модифицированную схему 2, то есть к этой схеме добавлены 10 обжатий с кантовками по 15°. Данная схема 3 выглядит так: два обжатия с кантовками по 120°, четыре обжатия с кантовками по 60° и десять обжатий с кантовками по 15°. Степень деформации за обжатие решено было оставить равным 20%.

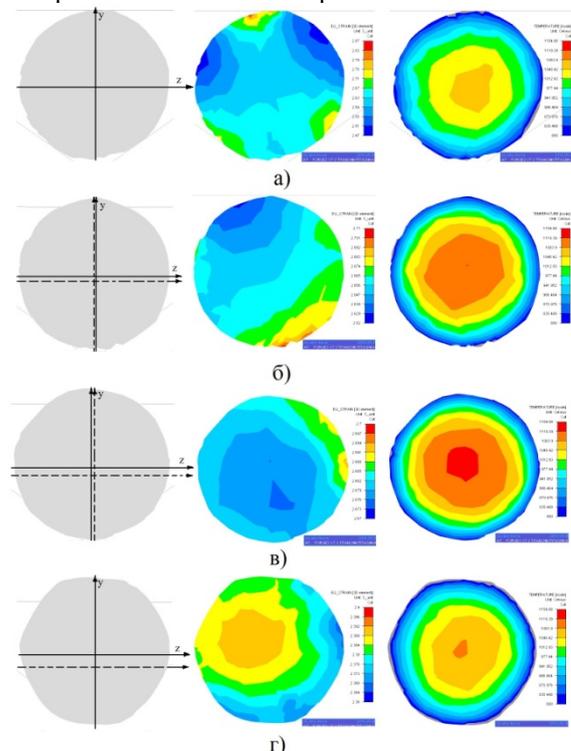


Рис. 5. Смещение центральной оси поковки, а также распределение деформаций и температур в «основном» сечении (а), в сечении №1 (б), в сечении №2 (в), в сечении №3 (г) при ковке по схеме 3

Выводы. В работе выполнен анализ формоизменения при использовании различных схем кузнечной вытяжки и основное внимание уделено прямолинейности поковки после процесса деформации в комбинированных бойках с минимальной неравномерностью деформации при формоизменении титанового сплава ВТ-6. Криволинейность получаемой поковки при рассмотренных схемах ковки оценивалась смещением разных сечений поковки относительно «основного» сечения, которое находилось непосредственно в зоне деформации. Анализ различных схем показал, что предложенная схемаковки (схема 3), которая состоит из двух обжатий с кантовками по 120°, четырех обжатий с кантовками по 60° и десяти обжатий с кантовками по 15° и степени деформации за обжатие составляющим 20% является оптимальной с точки зрения минимальной криволинейности поковки и минимальной неравномерностью деформации, что позволяет получать поковку высокого качества из сплава ВТ-6 с минимальной необходимостью последующей правки. Данная схема, ввиду минимальной криволинейности поковки, является также рациональной при рассмотрении возможности дальнейшей автоматизации кузнечного производства.

Анотація. В роботі розглянуто формозмінення титанового сплаву ВТ-6 шляхом математичного моделювання при ковальській витяжці за різними схемами кування в комбінованих бойках. Основною метою дослідження була оптимізація отримання прямолінійності поковки при реалізації протяжки за різними схемами для можливості автоматизації режимів деформування і зниження необхідності подальшого правлення. Результатом роботи є отримання даних про викривлення поковки щодо зони деформації в межбойковом просторі та аналіз причин, що його викликають.

Ключові слова: викривлення, деформація, кування, протяжка, перетин

Abstract. Purpose. The main aim of the study is to optimize the straightness of obtaining forgings with the implementation of the drawing process by different schemes for possible automatization modes of deformation and reduce the need for further edits of forgings.

Design/methodology/approach. The main research method is a computer simulation of forging process of titanium billets. To determine the degree of curvature of the forgings at the end of the process has been developed a method which allows to determine the deviation of the Central axis of the billet from the normal.

Findings. As a result of this work were made the conclusions about the schemes of forging of forgings on the degree of their curvature. Developed and improved forging scheme that allows to achieve the minimal curvature of the billet during the forging process, and also to achieve the minimal uneven distribution of deformations in the metal.

Originality/value. The results of this work are applicable in the industrial production of forgings made from titanium alloys and can be the basis for writing computer programs for automatization of the forging process on the automated forging complexes.

Keywords: curvature, deformation, forging, drawing, cross section.

References

1. Fomichev, A.F., Jurgenson, Je.E., Salienco, A.E. and Styrov, V.V. (2007), "Issledovanie vozmozhnosti voznikovenija vnutrennih razrushenij v pokovkah pri kuznechnoj protjazhke", *Metalloobrabotka*, no. 2, pp. 27-28.
2. Zalesskij, V.I., Tjurin, V.A. and Jekarev, M.S. (1979), "Vlijanie dopolnitel'nogo sdviga pri kuznechnoj protjazhke na raspredelenie deformacij v zagotovke", *Trudy Moskovskogo instituta stali i splavov, Nauchnye trudy MISiS, Metallurgija, Nove tehnologicheskie processy obrabotki metallov davleniem, Sb. Statej, MISiS, Metallurgija*, Moscow, no. 113, pp.76-81.
3. Nazar'jan, V.A. and Marakushina, O.M. (1998), "Marakushina Optimizacija processa kuznechnoj protjazhki", *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, no. 4, pp. 22-30.
4. Trubin, V.N. and dr. (1984), *Sistema upravlenija kachestvom proektirovanija tehnologicheskikh processov kovki*, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
5. Markov, O.E. (2014), *Algoritmi proektuvannja tehnologichnih procesiv kuvannja velikogabaritnih pokovok*, DDMA, Kramators'k, Ukraine.
6. Kargin, S.B., Kargin, B.S. and Kuhar, V.V. (2016), *Innovacionnye tehnologii kovki valov*, PGTU, Mariupol, Ukraine.
7. Chuhlib, V.L., Chuhlib, V.L., Klemeshov, E.S., Grinkevich, V.O. and Dija, H. (2015), "Doslidzhennja napruzhenodeformovanogo stanu pri protjazhki titanovogo splavu z metoju optimizacii parametriv kuvannja", *Visnik NTU «HPI»*, no. 24(1133), pp.159-166.

Подана до редакції 07.09.2016