

7. Abderrazak Traidia. Multiphysics modelling and numerical simulation of GTA weld pools. PhD Thesis – 2011
8. Choo R.T., Szekely J. The possible role of turbulence in GTA weld pool behavior // Welding J. Res.
9. Sudnik V.A. Phenomenological simplification of hydrodynamic problems of the weld pool and validation of such models. Математическое моделирование информационных технологий в сварке и родственных процессах. Сборник трудов пятой международной конференции, Крым, Украина, 28 мая-2010
10. Kim S. -D., Na S. -J. Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten. Arc Welding, Welding research supplement, May-1992
11. Choi. M and Greif R. A study of the heat transfer during arc welding with applications to pure metals or alloys and low or high boiling temperature materials, Numer. Heat Transfer, 11, 2004
12. Cho M.H., Lim Y.S., Farson D.F. Simulation of weld pool dynamics in the stationary pulsed Gas Metal Arc Welding process and final shape. Welding Research, Supplement to the Welding journal, December -2006
13. Manabu Tanaka, Kentaro Yamamoto, Shinichi Tashiro and Lowke J. Cfd modelling of arc welding –the importance of the arc plasma. Seventh international conference on cfd in the minerals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia, December- 2009

References

1. Zhaynakov AZ, Sultangazieva RT, Usenkanov Dzh.O. On the influence of thermocapillary convection on the parameters of the electric arc molten metal Reports 3 traditional Kazakh-Russian scientific-practical conference "Mathematical modeling of scientific and technological and environmental problems in the oil and gas industry", 19-20 September 2000, Almaty
2. Dilthey Y., I. Dikshit, wet O. Pavlik V. Modelirovanie process and simulation program for welding in active and inert gases. "Mathematical modeling and information technologies in welding and allied processes" Proceedings of the International Conference. - Crimea, Ukraine, September 2002
3. Poloskov SI The virtual model of the joints in the orbital tig- welding, the practical application of simulation and complex modeling and automation modelirovaniya. Sektsiya 3. - Moscow, 2005
4. Семенов И.Л., Кривцун И.В., Зельниченко А.Т. Исследование процессов испарения бинарных сплавов в условиях дуговой сварки. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов Шестой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2012
5. Судник В.А., Павляк Д.А. Термогидродинамическая модель сварочной ванны и процесса сварки неплавящимся электродом. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». Сборник трудов пятой международной конференции. -Крым, Украина, май, 2010
6. Jainakov A., Usenkanov J., Sultangazieva R. On joint modeling of processes in electric arc plasma and melted metal. 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June- 1999, Almaty
7. Abderrazak Traidia. Multiphysics modelling and numerical simulation of GTA weld pools. PhD Thesis - 2011
8. Choo RT, Szekely J. The possible role of turbulence in GTA weld pool behavior // Welding J. Res.
9. Sudnik V.A. Phenomenological simplification of hydrodynamic problems of the weld pool and validation of such models. Математическое моделирование информационных технологий в сварке и родственных процессах. Proceedings of the Fifth International Conference, Crimea, Ukraine, May 28 2010
10. Kim S. -D., Na S. -J. Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten. Arc Welding, Welding research supplement, May- 1992
11. Choi. M and Greif R. A study of the heat transfer during arc welding with applications to pure metals or alloys and low or high boiling temperature materials, Numer. Heat Transfer, 11, 2004
12. Cho M.H., Lim Y.S., Farson D.F. Simulation of weld pool dynamics in the stationary pulsed Gas Metal Arc Welding process and final shape. Welding Research, Supplement to the Welding journal, December -2006
13. Manabu Tanaka, Kentaro Yamamoto, Shinichi Tashiro and Lowke J. Cfd modelling of arc welding –the importance of the arc plasma. Seventh international conference on cfd in the minerals and process industries CSIRO, Melbourne, Australia, December- 2009

УДК 669.35.074.669.539.5

ПРОБЛЕМЫ ШТАМПОВКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И ИХ РЕШЕНИЕ

Машеков Серик Акимович, д.т.н., профессор, КазНТУ им. К.И.Сатпаева, Казахстан, г. Алматы,
e-mail: mashkov.1957@mail.ru

Нурахметова Кулзира Кумаргалиевна, аспирант, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, г. Бишкек,
e-mail: nurahmetova52@mail.ru

В данной статье рассматриваются проблемы штамповки титановых сплавов. Для получения

качественных поковок из титановых сплавов рекомендуется использовать инструмент с изменяющейся формой рабочей поверхности. Штамповку с таким инструментом целесообразно применять для получения изделий небольшой высоты (зубчатых колес, фланцев и др.).

Ключевые слова: титановые сплавы, штамповка, ковка, бойки, инструмент.

PROBLEMS FORMING OF TITANIUM ALLOYS AND THEIR SOLUTIONS

Mashekov Serik Akimovich, PhD (Engineering), professor, KazNTU named after K.I.Satpayev, c.Almaty Kazakhstan, e-mail: mashekov.1957@mail.ru

Nurakhmetova Kulzira Kumargalievna, graduate, KGTU named after Razzakov, c.Bishkek Kyrgyzstan, e-mail: nurahmetova52@mail.ru

This article discusses the problems of stamping of titanium alloys. To obtain high-quality titanium alloy forgings it is recommended to use tool with changing shape of the working surface. Stamping tool with a changing shape of the working surface are useful for producing products of reduced height (gears, flanges, etc.).

Keywords: titanium alloys, stamping, forging, strikers' tool.

Известно, что титановые сплавы находят все большее применение как высокопрочные и жаропрочные конструкционные материалы благодаря своей удельной прочности [1]. Для широко применяемых ($\alpha + \beta$)-титановых сплавов (BT3-1, BT9, BT20, BT22 и др.) она характеризуется высокими значениями $\gamma = \sigma_B/\rho = 0,25-0,33$ МПа/кг/м³, соизмеримыми с удельной прочностью мартенситностареющих сталей ($\gamma = 0,29-0,3$ МПа/кг/м³ для Ст. Н18К12М3Т2) и значительно превосходящими удельную прочность лучших конструкционных сталей, таких как Ст. Х5М2СФА ($\gamma = 0,2$ МПа/кг/м³). Следует отметить, что указанное преимущество титановых сплавов проявляется в полной мере при использовании их в различных изделиях, где необходим выигрыш в весе, благодаря чему высокопрочные титановые сплавы нашли применение при изготовлении коленчатых валов, дисков, лопаток, клапанов и т.д.

Однако существующие в настоящее время технологические процессы получения заготовок для штамповки из титановых сплавов характеризуются высокой трудоемкостью, низкой производительностью и большими материальными затратами [1].

Результаты анализа существующих технологий подготовки заготовок для штамповки поковок из титановых сплавов показывают, что на трудоемкость и производительность, а также на качество получаемых поковок сильное влияние оказывают физические свойства титановых сплавов и специфика их построения.

Наиболее важные факторы, влияющие на разработку технологии и выбор режимов ковки и штамповки титановых сплавов, следующие [1]:

1) низкая теплопроводность титана и его сплавов. Теплопроводность титановых сплавов примерно в 15 раз ниже теплопроводности алюминия и в 5 раз меньше теплопроводности стали. Пониженные значения теплопроводности приводят к значительным температурным перепадам по сечению слитков и заготовок при нагреве и возникновению значительных напряжений, а в отдельных случаях – к образованию трещин. Это обстоятельство накладывает ограничение на скорость нагрева, особенно слитков и заготовок больших размеров. При охлаждении заготовок из титана и его сплавов могут быть значительные температурные перепады по сечению. Особенно неблагоприятное последствие этого – быстрое охлаждение острых граней, тонких элементов сечений, что затрудняет обеспечение равномерной деформации. Дальнейшее деформирование острых граней и тонких элементов может привести к растрескиванию металла, к образованию целого ряда дефектов в получаемых поковках. Неблагоприятные последствия возникают и в результате местного захлаживания деформируемого металла в зонах контакта его с инструментом, имеющим значительно более низкую температуру. Низкая теплопроводность титана и его сплавов оказывает отрицательное влияние и в процессе самой горячей деформации. Наличие зон наиболее интенсивной деформации при ковке и штамповке, из-за малой теплопроводности и вследствие теплового эффекта деформации, приводит к значительному перегреву металла этих зон, ухудшению структуры;

2) титан и его сплавы при температурах нагрева для горячей деформации активно взаимодействуют с кислородом, азотом, водородом и кислородсодержащими газами атмосферы. При нагреве на воздухе на поверхности заготовок образуется окалина, начинающая отслаиваться при температурах выше 900 °С. Однако, наряду с образованием окисной пленки, происходит диффузия кислорода, водорода и азота с образованием поверхностных газонасыщенных слоев. Эти слои характеризуются высокой твердостью и низкой пластичностью. Для достаточно высоких температур (1200 °С) и длительности выдержки (до 5 часов и более), характерных при нагреве крупных слитков, глубина газонасыщенного слоя на поверхности может достигнуть нескольких миллиметров. Наличие газонасыщенного слоя значительной толщины на промежуточных заготовках может приводить к поверхностным надрывам при деформации, ухудшению качества поверхности металла. Известно, что, изменяя конфигурацию инструмента, форму заготовки, можно изменять напряженно-

деформированное состояние (НДС) и, тем самым, избегать дефектообразования при ковке. Отсюда возникает задача выбора рациональной конфигурации инструмента и заготовки, которая позволяет смягчить (минимизировать) коэффициент жесткости схемы напряженного состояния $k_{ж}$ на поверхности заготовки;

3) нагрев до температур, соответствующих β -области, и дальнейшее повышение температуры сопровождаются значительным повышением пластичности литого и деформированного металла, а также снижением сопротивления деформации. Однако в большинстве случаев деформация в β -области не дает возможности получить мелкозернистую рекристаллизованную структуру. Оптимальная структура может быть получена при деформации в β -области с переходом в $(\alpha + \beta)$ -область. Однако пластичность металла при деформации в $(\alpha + \beta)$ -области намного ниже, а сопротивление деформации – значительно выше. В связи с этим возникает необходимость оперативно изменять НДС, т.е. распределять деформации в различных объемах и величину $k_{ж}$ в соответствии с фазовым переходом. Такое оперативное изменение НДС возможно за счет изменения формы бойка и заготовки. Отсюда возникает задача выбора формы бойков при деформировании в $(\alpha + \beta)$ -области, которые позволяют снизить усилия деформирования и $k_{ж}$, обеспечивая при этом равномерное распределение деформации;

4) высокий коэффициент трения на поверхности контакта с инструментом, так как титан и его сплавы обладают повышенной способностью раскислять окисленные пленки на поверхности инструмента, чем объясняется их склонность к «схватыванию» с материалом инструмента, т.е. к образованию на контактной поверхности мостиков сварки. Это приводит к увеличению неравномерности деформации, уменьшению стойкости инструмента, ухудшению качества поверхности поковок и увеличению требуемого усилия деформирования.

Все перечисленные особенности приводят к тому, что горячая деформация титановых сплавов протекает в условиях значительной неравномерности деформации, что может привести к резко выраженной неоднородности структуры и неравномерности механических свойств поковок. Эти же особенности накладывают существенные ограничения как на способы и скорости подачи нагретых заготовок, так и на выбор оборудования, конфигурацию инструмента и способыковки.

Описанные выше особенности титановых сплавов приводят также к необходимости минимизации времениковки, штамповки и создания условий для управляемой локализации деформации в поверхностном слое заготовки на первоначальном этапе деформирования и в центральном слое в последующем этапековки. При этом грани заготовок необходимо периодически притуплять для ликвидации чрезмерного захлаживания углов поковок.

В работе [2] предлагается для подготовки структур использовать инструмент с изменяющейся формой. Это связано с тем, что при ковке заготовок в инструментах с изменяющейся формой на первом этапе деформация локализуется на поверхности и на втором этапе в центре поковки, т.е. создаются условия для качественной подготовки структуры заготовок для последующей штамповки. Однако в связи с трудностью изготовления предлагаемых инструментов в производственных условиях нами было поставлена еще одна цель – для получения качественных заготовок для штамповки разработать способковки, позволяющий локализовать деформацию последовательно на поверхности и в центре поковки, используя широко известное оборудование и инструменты.

Анализируя литературные данные, выбрали дляковки титановых сплавов плоские, комбинированные бойки. Для создания рациональной технологии протяжки и определения оптимальной величины углов кантовки и единичного обжатия исследовали напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки при протяжке в плоских и комбинированных бойках. Методом конечных элементов и программой MSC.SuperForge получили количественные данные и установили основные закономерности распределения НДС, температуры при моделированииковки в плоских и комбинированных бойках с различными углами кантовки и величинами обжатий, разработали рациональные режимы деформирования двухфазных титановых сплавов.

Проведенным исследованием установлено:

1. Равномерное по сечению заготовки распределение степени деформации сдвига достигается при ковке в плоских бойках с относительной подачей 1,0 на первом этапе и в комбинированных бойках с относительной подачей 0,6 и 1,0 на втором и третьем этапах протяжки.

2. Результатом равномерного распределения степени деформации сдвига является повышение уровня и однородности механических свойств металла, а также снижение их анизотропных свойств;

3. Расчет степени деформации сдвига позволил сделать вывод, что при ковке в плоских и комбинированных бойках измельчения структуры металла заготовки можно добиться за счет варьирования относительной подачи при угле кантовки 30°, 60°, 90°, 120°, 150° и 180°.

По нашему мнению, одним из прогрессивных технологических процессов является использование при штамповке титановых сплавов инструмента с изменяющейся формой рабочей поверхности. Использование этого процесса позволяет при сохранении всех преимуществ классических способов объемной штамповки избежать свойственных этому методу недостатков, в том числе повышенных требований к жесткости рабочего инструмента и необходимости приложения высоких удельных давлений при штамповке поковок небольшой высоты.

Сущность штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности состоит в том [3], что заготовку устанавливают между матрицей 5 и криволинейно-выпуклым элементом 4 пуансона 3 (рисунок

1). При движении траверсы пресса вниз происходит пластическая деформация заготовки криволинейно-выпуклым элементом пуансона и матрицей. При достижении верхнего нажимного механизма соответствующего упора данный винт приводит в движение верхнюю V-образную направляющую, что ведет к изгибу криволинейно – выпуклого элемента пуансона. Изгиб криволинейно выпуклого элемента вызывает вытеснение металла в радиальном направлении штампа. В конце процесса штамповки криволинейно-выпуклый элемент пуансона превращается в элемент с плоской рабочей поверхностью, что позволяет полностью заполнить полость штампа.

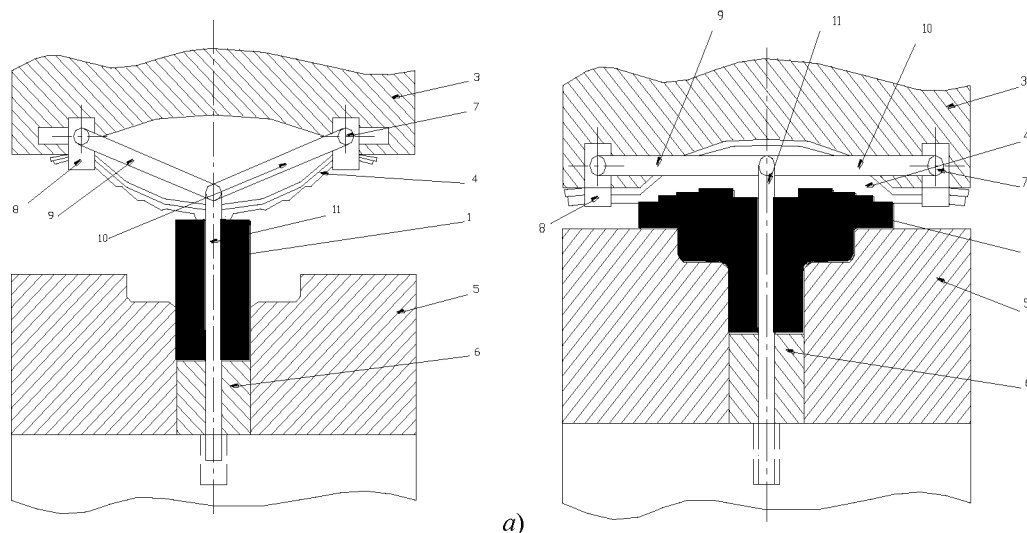


Рис. 1 – инструмент с изменяющейся формой рабочей поверхности до (а) и после (б) выполнения операции штамповки

1 – заготовка; 2 – получаемая поковка; 3 – пуансон; 4 – криволинейно-выпуклый элемент пуансона; 5 – матрица; 6 – выталкиватель; 7 и 8 – клиновое крепление криволинейно- выпуклого элемента; 9 и 10 – V – образная направляющая пуансона; 11 и 12 – нажимной винт пуансона

При штамповке в инструменте новой конструкции деформирующее усилие воздействует только на часть обрабатываемой заготовки. При этом трение между заготовкой и криволинейно-выпуклым элементом снижается, и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (известно, что криволинейно-выпуклая форма элемента снижает величину трения). Благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным условиям трения при штамповке в инструменте новой конструкции достигается уменьшение усилия деформирования, нагрузки на инструмент и быстрое заполнение полости ручья штампа.

Еще одним преимуществом штамповки в инструменте новой конструкции является постепенный перенос акцента деформации от центральных частей заготовки к периферийным частям поковки в конце процесса штамповки. Все это и снижение величины трения способствует более равномерному распределению деформации по сечению заготовки и тем самым повышению качества получаемых поковок.

При обычном процессе штамповки трение затрудняет радиальное перемещение материала по рабочим поверхностям штампа [4]. Удельное давление на единицу поверхности достигает максимума по оси поковки и снижается в направлении ее периферийных участков. Максимальное напряжение σ_{\max} тем больше, чем больше трение между заготовкой и инструментом. В ряде случаев σ_{\max} может достигать значений, в несколько раз больших предела текучести материала.

Если при обычной штамповке деформирующее усилие воздействуют одновременно на всю поверхность заготовки, то при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности – только на часть поверхности (рис. 1). В этом случае инструмент совершает обкатывающее движение. При этом трение снижается и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (за счет изменения трения скольжения на комбинированное трение качения и скольжения).

Еще одним преимуществом штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности является то, что за один рабочий цикл достигается значительно более высокая степень деформирования без применения промежуточного нагрева. Одновременно исключается необходимость использования дорогостоящих штампов для традиционной штамповки. Эти факторы обуславливают целесообразность использования штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности при средне- и мелкосерийном производстве.

Методом штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности можно получать заготовки из сталей и сплавов с высокой способностью к деформированию, которая определяется высоким содержанием в ней углерода и легирующих элементов. Цветные металлы, такие как титан, медь и алюминий – идеальный материал для получения заготовок методом штамповки в инструменте с изменяющейся формой

рабочей поверхности. С повышением содержания легирующих элементов склонность к формообразованию сталей и цветных металлов и сплавов при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности снижается.

Штамповку в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности можно использовать и при холодной штамповке. Известно, что упрочнение при холодной объемной штамповке происходит за счет изменения механических свойств материалов (прочности и твердости). Проведенными нами исследованиями установлено, что аналогичный механизм упрочнения характерен и для штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности. Поэтому в ряде случаев можно для изготовления поковок использовать заготовки из недорогих низколегированных сталей, которые после штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности имеют прочность на уровне высоколегированных сталей.

Штамповкой в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности целесообразно изготавливать осесимметричные, сплошные и полые изделия. В зависимости от конфигурации заготовки рекомендуется выбирать конфигурацию ручья при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности таким образом, чтобы полученная поковка не имела заусенцов и трещин в периферийной зоне.

Значительную роль при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности играет трение между заготовкой и деталью штампа. В качестве смазки обычно используются сульфид молибдена, различные масла или мыло [2]. Подготовку заготовок к штамповке обычно осуществляли с использованием автоматизированных устройств в следующей технологической последовательности [2]: обезжиривание; промывка в холодной, а затем теплой воде; фосфатирование в растворе с концентрацией до 90 – 150 мг/л; промывка в холодной и теплой воде; обработка в мыльном растворе, сушка или обработка сульфидом молибдена.

При штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности с малой степенью деформирования заготовок при мелкосерийном производстве рекомендуется только смазка заготовок маслом.

Таким образом, штамповку в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности целесообразно применять для получения изделий небольшой высоты (зубчатых колес, фланцев и др.). Формообразующий инструмент прост по конструкции, сравнительно дешев, достаточно быстро заменяется.

Список литературы

1. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Машекова А.С. Монография. Проблемыковки титановых сплавов и их решения. Часть 1 и 2 Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 с. и 251 с.
2. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Нуртазаев А.Е. Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой.- Павлодар: Издательство «Кереку», 2008. 634 с.
3. Патент РК № 15280. Инструмент для штамповки /А.Д. Омаров, С.А. Машеков, Н.Т. Биякаева и др. Опубл. 17.01.2005, бюл. № 1. - 2с:ил.
4. Nagy Jan. Orbitalne tvarnenie a kyvavou zapustkou // Strjirenska vyroba. – 1987. – № 5. – S. 317 – 322.

References

1. Masek SA, Biyakaeva NT, AS Mashekova Monograph . Problems forging of titanium alloys and their solutions . Part 1 and 2 Publisher : LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 p. and 251 s.
2. Masek SA, Biyakaeva NT, Nurtazaev AE Forging technology in the tool with varying formoy. - Pavlodar : Publishing " Kerekou ," 2008. 634 p.
3. Patent RK № 15280. Tool for punching /A.D . Lobster , SA Masek , NT Biyakaeva et al . Publ . 17.01.2005 , Bull. № 1. - 2c : ill.
4. Nagy Jan. Orbitalne tvarnenie a kyvavou zapustkou // Strjirenska vyroba. - 1987. - № 5. - S. 317 - 322 .

УДК 681.625.23; 531.01

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА ПОДШИПНИКИ ФОРМНОГО ВАЛА ПЕЧАТНОЙ МАШИНЫ

Курманалиев К.К., Султангазиева А.К., Турдукулова А.К., КГТУ им.И.Раззакова. тел: 0312-56-14-55, E-mail: turdukulovaa@list.ru

Вопрос о динамических нагрузках на подшипники вращающихся тел однородной структуры, цилиндрических оболочек, и вообще центрированной массы довольно хорошо изучен и рассматривается в учебниках по теории машин и механизмов, механике машин, деталей машин.

Формный вал печатной машины по конструкции является не центрированной массой. При больших угловых скоростях вращения на подшипники действуют разнонаправленные нагрузки. Получено аналитическое решение уравнения движения вала. Из анализа найдены обобщающиеся пиковые нагрузки.

Ключевые слова: печатная машина, модуляция, устойчивость, формный вал, подшипники, цилиндрическая оболочка, подвеска, динамика процесса, потенциальная энергия, степень свободы.