

Музычук В. И.
Шкрылев Р. В.
Печенюк В. В.

Винницький
національний
аграрний
університет

УДК 621774

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЗАГОТОВОК В КАЛИБРАХ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

Результати проведених експериментів і освоєння технології штампування поковок з титанових сплавів указують на необхідність створення нагрівального устаткування спеціальної конструкції з механізованими дверима, що забезпечують видачу нагрітих заготовок, перешкоджаючи входженню холодного повітря в камеру печі при відкритті заслінки.

The results of the conducted experiments and mastering of technology of stamping of поковок from titanic alloys specify on the necessity of creation of heater equipment of the special construction with the mechanized door, providing delivery of the heated purveyances, hindering included of cold air in the chamber of stove at opening заслінки.

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из трудно деформируемых титановых сплавов с применением процесса вальцовки, на предприятиях авиационной промышленности, обусловлена значительным применением в изделиях отрасли этих сплавов, повышенным расходом металла (КИМ 0,15 – 0,3), высокой трудоемкостью, длительным циклом изготовления качественных штампованных поковок (как правило 2 – 3 штамповки с промежуточными операциями обрезки облоя, пескоструйной обработки, зачистки, нагрева) и задачами по совершенствованию металосберегающих технологий.

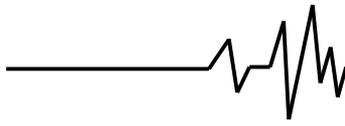
Данная работа выполнялась в соответствии с научно – технической программой Министерства промышленной политики Украины “Державна комплексна програма розвитку авіаційної промисловості України до 2010 року”. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 12.12.2001 р., № 1665 – 25, п.6.1.3. „Нові технології та матеріали, стандартизація, системи якості, нормативне забезпечення, виробництво та ремонту авіаційної техніки”.

Основная часть (≈ 70%) номенклатуры вальцуемых заготовок из титановых сплавов не

предприятия авиационной промышленности, где проводилось внедрение процесса вальцовки, имела коэффициент вытяжки до $\lambda_{\text{общ}} = 6,0 - 6,5$. Остальная номенклатура имела коэффициент вытяжки до $\lambda_{\text{общ}} = 8$. Встречалась номенклатура с коэффициентом вытяжки $\lambda_{\text{общ}} = 10$.

Зарождение и развитие как поверхностных, так и объемных микро- и макро дефектов на штампованных поковках из титановых сплавов обуславливаются не только уровнем характеристик отдельных физико-механических свойств последних, но размерами и формой вальцованной заготовки, большими коэффициентами вытяжки за проход при вальцовке ($\lambda = 1,3 - 2,1$), конструкцией штампованной поковки. Кроме этого, запас пластичности определяется, с одной стороны, теплосодержанием заготовок, нагретых до верхней границы интервала ковочных температур, с другой – теплоотдачей от заготовок штампам, а также, от заготовок в окружающую среду конвекцией и излучением.

В данной работе запас пластичности определялся экспериментальными исследованиями, которые состояли в измерении температуры заготовок во время



вальцовки и фиксации условий возникновения трещин на газонасыщенной поверхности титановых сплавов.

Для проведения экспериментов были взяты заготовки из титановых сплавов BT22, OT4 с размерами $\downarrow\varnothing$ 55, 60, 75 мм и длиной 150 мм из расчета вальцовки трех заготовок в одном калибре при одинаковых условиях деформации. Интервалы ковочных температур были выбраны согласно инструкции ВИАМ ПИ 1.2.108 - 79 для титановых сплавов [1]. Температурные интервалы для деформации выбранных сплавов составляли: BT22 930 - 780°C; OT4 930 - 800°C.

При проведении экспериментальных исследований были использованы ковочные вальцы модели CA1335 и CA1035 с межцентровыми расстоянием \downarrow 320 мм. Нагрев заготовок осуществлялся в электрических печах, оборудованных пирометрическими устройствами, обеспечивающими автоматическое регулирование и запись температуры на картограммах. Перед нагревом в торце каждой заготовки засверливалось отверстие диаметром 3 мм, глубиной 5 - 6 мм на расстоянии 8 - 12 мм от цилиндрической поверхности. В отверстие зачеканивался платиново-родиевый спай термопары для титановых сплавов. Термопара присоединялась к милливольтметру, проградуированному в градусах Цельсия. Замеры осуществлялись перед открытием заслонки и после каждого пропуска в вальцовочных штампах во время вальцовки. Время, начиная от момента захвата клещами заготовки в печи и соответствующее проведению вальцовки в каждом пропуске, также фиксировалось и заносилось в таблицу вместе с показателями термопары.

Поскольку пластичность сплавов характеризуется деформацией, определяемой необходимым количеством переходов без нарушения сплошности, то фиксируются образование трещин и переходы, в которых они возникают.

Для много переходной вальцовки были использованы вальцовочные штампы с различными системами калибров: овал-квадрат; овал-ромб; овал-ромб-квадрат; овал-ромб-овал-круг; овал-ромб-овал-квадрат-ромб-круг; овал-ромб-круг-овал-круг и др. С целью определения влияния клиновидности участка с возрастающим обжатием переходные участки были различной длины 25, 30, 80, 150, 200 мм.

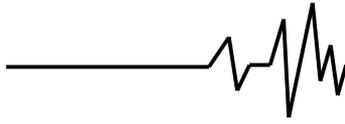
Заготовки из титановых сплавов отрезались абразивными кругами на отрезных станках, очищались на дробеструйных установках от загрязнения. Для защиты

поверхности заготовок от окисления и газонасыщения при технологических нагревах, часть заготовок покрывалась защитно-технологической высокотемпературной эмалью ЭВТ - 24 [2, 3], которая была выбрана после анализа их свойств и широко применяемая на Ташкентском авиационном производственном объединении им. Чкалова. После сушки заготовок с нанесенной на их поверхность эмали, в специальной конструкции сушильных шкафов подогретым воздухом. Укладка заготовок на под печи проводилась в один ряд на расстоянии равном половине их радиусов. Для равномерного прогрева по сечению заготовок в соответствии с рекомендациями описанными в работе [1], нагрев проводился из расчета не менее 40 с на 1 мм толщины заготовки при температурах β - области (\approx 1000°C и выше) и 60 с на 1 мм толщины заготовки при температурах $\alpha + \beta$ области. Кроме этого, в работе [1] рекомендуется, с целью уменьшения окисления и предотвращения значительного роста зерна, время пребывания заготовок в печи должно быть минимальным, необходимым для нагрева всего сечения.

В первой серии экспериментов, заготовки с размерами $\downarrow\varnothing$ 55 x 130 мм вальцевались в калибрах, имеющих короткие переходные участки длиной 25-30 мм по системе овал-квадрат, с коэффициентами вытяжки 1,55 и 1,33 соответственно в овальном и квадратном калибрах.

Результаты экспериментов показали, что дефектов на поверхности вальцованных заготовок из сплава OT4 без применения защитно-технологической эмали (ЗТЭ) не обнаружено. Заготовки из сплава BT22 на боковой поверхности, находящейся вне контакта со штампом, после вальцовки во втором переходе имели вертикально расположенные трещины глубиной 0,15 - 0,2 мм. Наличие мелких трещин на поверхности вальцованных заготовок объясняется охрупчиванием альфированного слоя. Вальцованные заготовки с применением обмазки подобных трещин на поверхности не имели.

Во второй серии экспериментов, заготовки с размерами $\downarrow\varnothing$ 55x130 мм вальцевались в калибрах, имеющих переходные участки длиной 80 - 95 мм, по системе овал-ромб-квадрат, с коэффициентом вытяжки по переходам соответственно 2,12; 1,89 и 1,13. Заготовки, вальцованные без применения ЗТЭ, из сплавов BT22 и OT4 после вальцовки в овальном и ромбическом калибрах имели на контактной и боковой поверхностях



трещины глубиной до 0,2 мм за счет охрупчивания поверхностного альфированного слоя. В квадратном калибре увеличение глубины трещин не происходило в связи с небольшим обжатием. Кроме этого, на всех вальцованных заготовках в овальном и ромбическом калибрах наблюдались небольшие морщины, которые не влияли на образование дефектов при вальцовке в последующих калибрах. Это объясняется недостаточной «жесткостью» схемы напряженного состояния и повышенной скоростью деформации в переходном участке. Вальцованные заготовки с применением ЗТЭ дефектов не имели.

В третьей серии экспериментов, заготовки с размерами $\downarrow\text{Ø}55 \times 170$ мм вальцевались в калибрах, имеющих длину переходных участков 180 - 190 мм по системе овал-квадрат с коэффициентами вытяжки по переходам соответственно 1,6 и 1,59.

Проведенные эксперименты показали, что на заготовках вальцованных с применением ЗТЭ наблюдалось появление незначительных трещин на поверхности, не контактирующих с металлом, глубиной до 0,2 мм и на участках, где было нарушено и отсутствовало покрытие.

В четвертой серии экспериментов, заготовки с размерами $\downarrow\text{Ø}60 \times 150$ мм вальцевались в калибрах, имеющих длину переходных участков 25 - 30 мм по системе овал-ромб-квадрат с коэффициентом вытяжки по переходам соответственно 1,8; 1,55 и 1,6.

Проведенные эксперименты показали, что кроме охрупчивания альфированного слоя, в некоторых местах на поверхностях заготовок, вальцованных с постоянным обжатием на ковочных участках, и на участках, не контактирующих с вальцовочными штампами, наблюдалось появление мелких трещин в теле заготовки глубиной до 0,15 мм. На заготовках, вальцованных с наличием обмазки, трещин не наблюдалось. Появление мелких трещин при вальцовке заготовок в ромбических и квадратных калибрах объясняется значительной неравномерностью распределения температуры по сечению заготовки, что вызывает рост растягивающих напряжений. Металл в углах не успевает разогреться вследствие поступления теплоты из внутренних слоев заготовки, пластичность его снижается и растет сопротивление деформации. Это ведет к тому, что остывшие слои деформируются значительно меньше, чем центральные зоны заготовки, вдавливаются в него, образуя при этом продольные закаты, а на подстывших местах образуются подрывы и

трещины. Кроме этого, охлажденный поверхностный слой, имея повышенную твердость, вызывает неравномерное изнашивание калибров, снижает коэффициент трения и ухудшает условия захвата. Из этого следует, что при выборе системы и расчета калибров следует исходить из того, что необходимо создать равномерное распределение деформации по переходам, избегать проектирование калибров с острыми углами и быстро охлаждающимися гранями. Кроме этого, необходимо отметить, что в ромбических и квадратных калибрах окалина и хрупкие пленки оксидов не удаляются, а наоборот, закатываются в металл. Окалина хорошо удаляется в овальных и круглых калибрах.

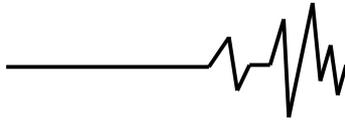
Предыдущие опыты показали, что отсутствие защитного покрытия на заготовках вызывает появление трещин на поверхности вальцованных заготовок. Поэтому в этой серии опытов, учитывая большие коэффициенты вытяжки по переходам, заготовки вальцевались с применением ЗТЭ. Несмотря на наличие ЗТЭ, на поверхностях, не контактирующих с вальцовочными штампами (в основном на переходных участках), наблюдалось увеличение шероховатости поверхности. Трещин не наблюдалось.

В пятой серии опытов, заготовки из титановых сплавов ВТ22, ОТ4, с размерами $\downarrow\text{Ø}60 \times 180$ мм вальцевались в овальном, овально-ромбическом, квадратном калибрах с коэффициентом вытяжки по переходам соответственно 2,1; 1,8; 1,5. Длина участков с нарастающим обжатием была 60, 106 и 160 мм. Участков с постоянным обжатием не было.

На заготовках из сплавов ВТ22 и ОТ4, кроме охрупчивания альфированного слоя (вальцовка проводилась без обмазки), дефектов не обнаружено. В последнем переходе, на концах вальцованных заготовок наблюдалось незначительное переполнение калибров (длина участков составляла 10 - 12 мм) вальцованных как с ЗТЭ, так и без неё.

Заготовки, покрытые эмалью, вальцованные в названных калибрах, дефектов не имели. Эксперименты показали, что протяженность участка с нарастающим обжатием не оказывает существенного влияния на пластичность металла в указанных условиях.

В шестой серии опытов, заготовки с размерами $\downarrow\text{Ø}75 \times 150$ мм вальцевались в калибрах, имеющих длину переходных участков 20 - 25 мм, по системе овал-ромб-квадрат с коэффициентами вытяжки по переходам соответственно 1,6; 1,6 и 1,76.



Результаты экспериментов были аналогичны четвертой серии опытов. Из этой серии опытов можно сделать вывод, что вальцовка более крупных заготовок из титановых сплавов, за счет увеличения теплосодержания, по сравнению с заготовками, имеющими диаметр 50 - 60 мм, не уменьшает склонности к трещинам.

В седьмой серии опытов, заготовки с размерами $\downarrow\text{Ø}65 \times 150$ мм вальцевались в калибрах, имеющих длину переходных участков 20 - 30 мм по системе овал-ромб-ромб с коэффициентом вытяжки по переходам соответственно 1,6; 1,64 и 1,45. Вальцовка заготовок начиналась в овальном, первом ромбическом калибре, затем кантовалась на 90° и вальцевалась в первом ромбическом калибре. Последующим калибром был второй, ромбический и заготовка после вальцовки кантовалась на 90° и опять в нем вальцевалась.

Заготовки из сплава BT22, вальцованные без обмазки, уже после четвертого перехода имели на переходном участке сетку мелких трещин в теле заготовки, глубиной до 0,2 мм, а на участке с постоянным обжатием трещины глубиной 0,1- 0,15 мм.

Заготовки из сплава OT4, вальцованные без обмазки, имели сетку мелких трещин глубиной до 0,4 мм после четвертого перехода на участке с нарастающим обжатием (переходном).

Результаты проведенных экспериментов показали, что во время вальцовки заготовок наблюдалось появление трещин глубиной до 0,2 - 0,4 мм, удаляемых зачисткой. Этот дефект наблюдался на поверхности заготовок, вальцованных без покрытия эмалью или в местах, где нарушена обмазка эмалью, а также в местах действия деформации растяжения на поверхностях, свободных от контакта с вальцовочными штампами, т.е. в местах действия растягивающих напряжений и деформаций. Кроме этого, появление мелких трещин обычно наблюдалось при значительных коэффициентах вытяжки на поверхности коротких переходных участков с нарастающим обжатием и реже на участках вальцуемой заготовки с постоянным обжатием.

Исследование данных об изменении температуры заготовок в этой серии опытов выявило понижение температуры заготовок, находящихся в печи, после открытия заслонки на $20\text{-}30^\circ\text{C}$. Изучение диаграммы записи температуры печи показывает, что в период времени, когда открывается заслонка и берется заготовка из печи, наблюдается понижение температуры печи типа СНО на 30°C .

Выравнивание температуры печи после опускание заслонки длится 10-15 минут. Температура заготовок после вальцовки в третьем переходе (иногда после второго) находится на нижнем пределе границы температурного интервала ковочных температур для этих сплавов в связи с тем, что происходит остывание заготовки за счет теплоотдачи в атмосферу во время переноса заготовки от печи к вальцам, захвата заготовки специальными клещами и контакта заготовки с поверхностью вальцовочных штампами в процессе деформации. Названные причины существенно влияют на появление мелких трещин на поверхности заготовок. Отсюда напрашивается вывод о необходимости создания нагревательного оборудования специальной конструкции, которое позволило бы выдавать по одной заготовке, препятствуя вхождению холодного воздуха в камеру печи при открытии заслонки. Это позволило бы, не изменяя темпа выдачи заготовок из печи, максимально сохранить температуру заготовок и печи вблизи верхней границы интервала ковочных температур и, таким образом, использовать узкий интервал ковочных температур в $110\text{-}150^\circ\text{C}$ для осуществления четырех-пяти (и более) переходной вальцовки и получения качественных штампованных поковок.

За образец создания печи для нагрева заготовок из титановых сплавов можно взять оборудование, описанное в работе [4].

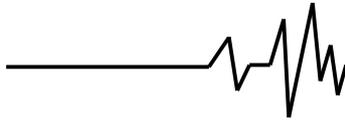
Кроме этого, результаты проведенных исследований по вальцовке заготовок из титановых сплавов показали, что для сплавов BT22, OT4 можно применять многоручьевую вальцовку (4 - 5 и более переходов) при использовании ЗТЭ, соблюдения режима нагрева и сохранения темпа вальцовки $22 - 27\text{с}$. с момента выдачи заготовки из печи, осуществления вальцовки заготовок в условиях, приближенных по температурному фактору к изотермическим.

Без выполнения указанных выше условий, можно рекомендовать проведение вальцовки заготовок из этих сплавов в три перехода с одного нагрева.

Выводы

Проведенные эксперименты и освоение технологии штамповки поковок из титановых сплавов позволили провести анализ и сделать следующие выводы:

1. Титановые сплавы склонны к образованию газонасыщенного



альфированного слоя при нагреве до высоких температур и налипанию на рабочий инструмент. Толщина слоя зависит от продолжительности нагрева, температуры и химического состава газов в окружающей атмосфере, а также от марки титанового сплава.

2. При вальцовке заготовок в ромбических и квадратных калибрах наблюдается значительная неравномерность распределения температуры по сечению заготовки. Металл в углах не успевает разогреться вследствие поступления теплоты из внутренних слоев заготовки, пластичность его снижается и растет сопротивление деформации. Это ведет к тому, что остывшие слои деформируются значительно меньше, чем центральные зоны заготовки, вдавливаются, образуются надрывы и трещины. Кроме этого, охлажденный поверхностный слой, имея повышенную твердость, вызывает неравномерное изнашивание калибров, снижает коэффициент трения и ухудшает условия захвата.

3. При больших отношениях осей овальных и ромбических калибров ($a = 3,4$ и более) наблюдается появление морщин на боковых поверхностях вальцуемой заготовки и при вальцовке их в последующих переходах образуются закаты, расслоения и другие дефекты.

4. В процессе деформации заготовок из титановых сплавов калибры вальцовочных штампов изнашиваются неравномерно. Наибольшее изнашивание овальных калибров, наблюдается в средней части, а круглых – на линии, точки которой расположены на диагоналях, наклоненных к вертикали под углом $40 - 50^\circ$. Это объясняется стремлением овальной или ромбической заготовок к скручиванию при вальцовке в круглом калибре. Из – за повышенной твердости подстывших углов ромбических заготовок и боковых утоненных участков овальных заготовок, максимально изнашиваются квадратные и ромбические калибры вблизи вершины угла калибра.

5. Результаты проведенных экспериментов показали, что во время вальцовки заготовок из титановых сплавов ВТ22, ОТ4 наблюдалось появление на их поверхности трещин глубиной $0,2 - 0,4$ мм, удаляемых зачисткой. Этот дефект наблюдался на поверхности заготовок, вальцованных без обмазки или в местах, где нарушена обмазка эмалью, а также в местах действия напряжений растяжения на

поверхностях, свободных от контакта с вальцовочными штампами, т.е. в местах действия растягивающих напряжений и деформаций.

6. Освоение технологии объемной штамповки титановых сплавов, включая описанные выше эксперименты, указывают на необходимость создания нагревательного оборудования специальной конструкции с механизированной дверью, обеспечивающей выдачу нагретых заготовок, препятствуя входу холодного воздуха в камеру печи при открытии заслонки. Это позволило бы, не меняя темпа выдачи нагретых заготовок, максимально сохранить температуру заготовок и печи вблизи верхней границы интервала ковочных температур и, таким образом использовать их узкий интервал в $110 - 150^\circ\text{C}$ для осуществления четырех – пяти (и более) переходной вальцовки и изготовления качественных штампованных поковок.

7. Проведенные исследования показали, что для титановых сплавов ВТ22, ОТ4 можно применять многоручьевую вальцовку (4 – 5 и более переходов) с использованием ЗТЭ, соблюдением режима нагрева и сохранения темпа вальцовки $22 - 27\text{с.}$ с момента выдачи заготовки из печи, осуществлением вальцовки заготовок в условиях, приближенных по температурному фактору к изотермическим.

Без выполнения указанных выше условий, можно рекомендовать проведение вальцовки заготовок из этих сплавов в три перехода с одного нагрева.

Литература

1. Производственная инструкция по ковке и штамповке титановых сплавов ПИ 1.2.108 – 79: Утв. нач. ВИАМ Р. Шалиным 2.01.79г.: Срок введения с января 1980 г. М., 1979. – 17 с.

2. ОСТ 90. 220 - 77: Покрытия защитно-технологические высокотемпературные. – Взамен инструкций № № 955 – 69 и 1030 – 74 в части приготовления покрытий; Приготовление. Типовой технологический процесс. Срок введ. с 1. 07.78 г. – М., ВИАМ, 1977. – 7 с.

3. ОСТ 90. 221 – 77: Покрытия защитно-технологические высокотемпературные. Применение для термической обработки. Типовой технологический процесс. Срок введ. с 1.07. 78 – М., ВИАМ, 1978. – 9 с.

4. Скрябин С.А. Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием. – КВЦ, 2004. – 346 с.