

УДК 621.983.3

Фролов Е. А.
Кравченко С. И.
Носенко О. Г.
Бондарь О. В.

УДАРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ ЗАГОТОВОК

Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций. В процессах формообразования глубоких сложнорельефных тонколистовых деталей предельные деформации и режимы обработки для ряда материалов определяются не только их пластическими свойствами, но и способностью сопротивляться задиру, особенно это касается традиционных видов штамповки титановых сплавов на гидравлических и кривошипных прессах. Налипание металла на пуансон и матрицу приводит к снижению качества поверхности детали и снижению стойкости инструмента.

Как показала практика, для получения глубоких деталей необходима многопереходная штамповка и межоперационные отжиги. Недостатком такой технологии является продолжительный производственный цикл изготовления детали, связанный с проведением промежуточных отжигов и подготовительных операций, таких как обезжиривание поверхности, удаление оксидных пленок, нанесение и удаление фосфата, отмывание, сушка и др.

Интенсифицировать процесс формообразования деталей из титановых сплавов без предварительного нагрева заготовок можно за счет применения эффективных смазочных материалов и покрытий. К таким покрытиям относятся покрытия заготовок цинком, наносимые в расплавленных солях этого металла. По сравнению с аналогичными покрытиями из растворов электролитов они являются более стойкими и при обработке давлением исключают налипание материала на инструмент и повышают предельную глубину вытяжки титановых сплавов BT1-0, OT4-1 и BT20 на гидравлических прессах в пределах 22–30 % [1–3].

Недостатком такой технологии является невозможность получения сложнорельефных деталей. Решение этой проблемы можно развязать, используя безпуансонные методы штамповки [4]. Наиболее перспективным является ударная динамическая штамповка жидкостью на прессах модели T1324 [5].

Цель работы – интенсификация процесса ударной штамповки жидкостью тонкостенных деталей сложной формы из титановых сплавов без предварительного нагрева заготовок.

Изложение основного материала. Исследование штампуемости титановых сплавов с цинковым покрытием и сравнение их с этими же сплавами, но без покрытия, проводились на заготовках диаметром от 100 до 300 мм и толщиной от 0,5 мм на пневмударной установке штамповки жидкостью T1324M (рис. 1) мощностью 63 кДж.

Нанесение цинкового покрытия на титановые заготовки необходимо проводить в две стадии:

– Первая стадия – предварительная обработка, заключающаяся в травлении титановых заготовок в солевом расплаве со следующей концентрацией основных элементов расплава $ZnCl_2$ 85–93 %, смесь KCl и $NaCl$ 7–15 %. Время травления составляет 5–10 мин, температура расплава – 400–430 °С.

– Вторая стадия – непосредственное нанесение цинкового покрытия в расплаве солей, содержащем 50–70 % $ZnCl_2$, 20–30 % KCl и 10–30 % $NaCl$. Продолжительность обработки 5–7 мин, температура расплава 400–430 °С.

Таким образом, предварительная обработка титановых заготовок в расплавленной солевой среде хлоридов цинка, калия и натрия позволяет на первой стадии провести травление и удалить оксидную пленку, а на второй стадии при последующем цинковании получить на поверхности заготовок качественное покрытие, сцепленное с основой на уровне металлической связи.

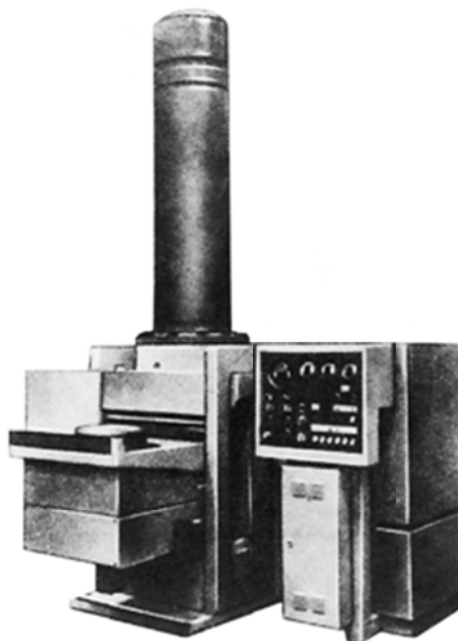


Рис. 1. Установка для пневмоударной штамповки жидкостью модели T1324M

Металлографические исследования показали, что толщина цинкового покрытия составляет 5–7 мкм; между цинковым покрытием и титановой основой имеется промежуточный слой Zn/Ti толщиной 20–30 мкм, что и обуславливает высокую прочность соединения покрытия и основы [3].

Основным критерием, определяющим способность листовых материалов к глубокой вытяжке, является степень вытяжки $K_{\text{выт}}$, которая определяется как отношение диаметра заготовки $D_{\text{заг}}$ к диаметру вытягиваемой детали по средней линии $d_{\text{ср}}$. В табл. 1. представлены сравнительные значения степени вытяжки заготовок из титановых сплавов, полученные экспериментальным путём при ударно-динамической штамповке заготовок с покрытием и без покрытия.

Таблица 1

Значения степени вытяжки в холодном состоянии с цинковым покрытием заготовки

Марка сплава	$K_{\text{выт}}$ в холодном состоянии при толщине заготовки			$K_{\text{выт}}$ с цинковым покрытием при толщине заготовки		
	до 1 мм	1–3 мм	св. 3 мм	до 1 мм	1–3 мм	св. 3 мм
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
BT1-00	1,6–1,9	1,8–2,0	1,5–1,7	1,8–2,0	> 2,0	> 2,0
BT1-0	1,6–1,9	1,8–2,0	1,5–1,7	1,8–2,0	> 2,0	> 2,0
OT4-0	1,55–1,85	1,85–2	1,5–1,65	1,7–1,9	> 2,0	> 2,0
OT4-1	1,55–1,8	1,8–1,85	1,45–1,6	1,7–1,9	> 2,0	> 2,0
OT4	1,5–1,6	1,6–1,7	1,4–1,5	1,6–1,8	1,8–2,0	1,8–2,0
OT4-2	—	—	—	1,3–1,4	1,4–1,5	1,4–1,5
BT4	1,2–1,3	1,4–1,5	1,2–1,3	1,4–1,5	1,6–1,7	1,6–1,8
BT5-1	1,2–1,3	1,4–1,5	1,2–1,3	1,4–1,5	1,6–1,7	1,5–1,6
BT6C	1,2–1,3	1,4–1,5	1,2–1,3	1,4–1,5	1,6–1,7	1,5–1,6
BT14 отожженные	1,2–1,3	1,25–1,4	1,2–1,3	1,45–1,55	1,65–1,7	1,5–1,6

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
BT14 закаленные	1,3–1,4	1,4–1,5	1,3–1,35	—	—	—
BT15 отожженные	1,2–1,3	1,3–1,4	1,2–1,3	1,45–1,55	1,6–1,7	1,5–1,6
BT15 закаленные	1,3–1,4	1,4–1,5	1,3–1,35	—	—	—
BT20	—	—	—	—	1,4–1,6	1,3–1,5
BT23 отожженные	—	1,6–1,7	—	—	1,8–2,0	—
BT23 закаленные	—	1,4–1,5	—	—	—	—

Комплекс проведенных исследований позволил разработать промышленную технологию глубокой вытяжки деталей из титановых сплавов без промежуточного рекристаллизационного отжига между второй и третьей вытяжными операциями. Предварительную подготовку заготовок осуществляют на участке химико-термической обработки. Технологический цикл включает в себя следующие этапы: обезжиривание заготовки, отмывание её в горячей, а затем в холодной воде, сушка; травление и цинкование в солевом расплаве, отмывание в горячей и холодной воде, сушка; нанесение смазочного материала, вытяжка за три операции; удаление покрытия; подрезка фланца до готового размера.

Также было установлено, что одной из главных и наиболее часто встречающихся причин разрушения деталей при вытяжке являются гофры, которые образуются вследствие отсутствия или недостаточного усилия прижима. Образовавшиеся гофры могут являться также причиной разрушения деталей в процессе эксплуатации.

При вытяжке цилиндрических емкостей, днищ, полусфер для шаробаллонов и других наиболее ответственных деталей гофрообразование не допускается. Для устранения этого недостатка нами были установлены величины удельного давления прижима заготовок. Среднее значение величины удельного давления прижима при вытяжке отожженного материала в холодном состоянии для толщины равной 1 мм приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднее значение величины удельного давления прижима
при вытяжке отожженного материала в холодном состоянии для толщины равной 1 мм

Марка сплава	Среднее значение удельного давления прижима q , МПа		
	в зависимости от степени вытяжки, равной		
	1,2–1,5	1,6–1,8	св. 1,9
BT1-00, BT1-0, OT4-0, OT4-1	2–2,5	2,7–3,1	3,3–4,0
OT4, BT-4, BT5-1	2,2–2,7	—	—
OT4-2, BT2C, BT14, BT15, BT20, BT23	2,5–3,0	—	—

При вытяжке деталей из заготовок толщиной больше или меньше 1 мм для определения величины удельного давления следует пользоваться поправкой c (табл. 3), на которую необходимо множить значение q , взятое с табл. 2.

Таблица 3

Значения поправки c в зависимости от толщины материала

Толщина материала, мм	до 0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4–5	св. 5
Значение поправки c	1,2	1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6

Глубокую вытяжку в тех случаях, когда трудно или невозможно отрегулировать заданное усилие прижима, следует производить с гарантийным зазором, величина которого определяется по формуле:

$$S_1 = S_0 + \Delta S, \quad (1)$$

где S_0 – исходная толщина заготовки;

ΔS – величина приращения толщины в % от исходной толщины.

Величина приращения толщины зависит от степени вытяжки и выбирается по табл. 4.

Таблица 4

Значения величина приращения толщины

Степень вытяжки $K_{\text{выт}}$	1,3	1,5	1,75	2,0	св. 2
Величина приращения в % от исходной толщины	8–10	10–12	12–15	15–20	св. 25

Оптимальный радиус закругления рабочей кромки вытяжной матрицы первого перехода для сплавов марок ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1 и ОТ4 является $R_{\text{м. опт}} = (6–8)S$, а пуансона $R_{\text{п. опт}} = (4–6)S$.

Для сплавов марок ВТ4, ВТ5-1, ВТ6С, ОТ4-2, ВТ14, ВТ15, ВТ20, ВТ23 оптимальный радиус матрицы составляет $R_{\text{м. опт}} = (10–12)S$, а пуансона $R_{\text{п. опт}} = (9–11)S$.

С целью получения полусферических, эллиптических и другой формы днищ с равномерной толщиной стенки по образующей вытяжку-штамповку следует производить формовкой в торец, т. е. с приложением дополнительного усилия в торец заготовки по схеме ударно-динамической штамповки, представленной в работе [5]. Этим способом можно получать полусферы, эллиптические днища и конусные детали с относительной толщиной стенки $S_{\text{отн}} \geq 0,8$ %.

$$S_{\text{иді}} = \frac{S}{d_{\text{нд}}} \cdot 100, \%, \quad (2)$$

где S – исходная толщина заготовки, мм;

$d_{\text{нд}}$ – диаметр днища по средней линии, мм.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что реакция цинкования титана происходит в солевом расплаве с концентрацией основного компонента – хлорида цинка (ZnCl_2) – не более 85 %, остальное – хлорид калия (KCl) и хлорид натрия (NaCl). Причем в случае превышения указанной концентрации хлорида цинка реакция цинкования не идет, зато процесс травления оксидной плёнки осуществляется достаточно интенсивно.

ВЫВОДЫ

1. Процесс нанесения цинкового покрытия на заготовки из титановых сплавов следует осуществлять в две стадии: первая – травление в солевом расплаве с повышенной концентрацией хлорида цинка, вторая – цинкование в солевом расплаве с другим процентным содержанием хлорида цинка.

2. В результате нанесения цинкового покрытия создается значительный положительный градиент механических свойств поверхности и основы заготовки, благодаря чему увеличивается штампуемость материала, что способствует интенсификации процесса глубокой вытяжки титановых сплавов.

3. Установлены основные характеристики параметров глубокой вытяжки листовых деталей из различных титановых сплавов при динамической штамповке с использованием цинковых покрытий, нанесенных из расплава хлорида цинка.

4. Предложенная технология позволяет осуществлять глубокую многопереходную вытяжку титановых сплавов без предварительного нагрева заготовок и промежуточных межоперационных термообработок.

5. Разработана и апробирована промышленная технология предварительной химико-термической обработки заготовок из титановых сплавов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов Е.А. Выбор эффективного метода интенсификации процессов формообразования листовых деталей сложных форм из высокопрочных конструкционных сталей [Текст] / Е. А. Фролов, О. Г. Носенко, Е. С. Дерябкина // *Машиностроение* : сб. науч. тр. Украинской инженерно-педагогической академии. – № 10. – Х., 2012. – С. 248–255.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : *Машиностроение. Ленингр. отд-ние*, 1979. – 520 с.
3. Каржавин В. В. Металлические покрытия, нанесенные в расплавах солей, их исследование и использование в процессах обработки давлением [Текст] / В. В. Каржавин // *Трение и износ*. – 1992. – Т. 13, № 3. – С. 487–495.
4. Каржавин В. В. Интенсификация глубокой вытяжки изделий из титановых сплавов [Текст] / В. В. Каржавин, И. В. Ухлов, С. Г. Шибeko // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2013. – № 5. – С. 22–26.
5. Фролов Е. А. Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами [Текст] : монография / Е. А. Фролов, А. Я. Мовшиович, И. В. Манаенков и др. – Х. : *УкрГАЗТ – Краматорск* : ДГМА, изд. центр НТУ «ХПИ», 2010. – 286 с.

REFERENCES

1. Frolov E. A. *Vybor effektivnogo metoda intensifikacii processov formoobrazovanija listovyh detalej slozhnyh form iz vysokoprochnnyh konstrukcionnyh stalej* [Tekst] / E. A. Frolov, O. G. Nosenko, E. S. Derjabkina // *Mashinostroenie : sb. nauch. tr. Ukrainskoj inzhenerno-pedagogicheskoy akademii*. – № 10. – Kh., 2012. – S. 248–255.
2. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* [Tekst] / V. P. Romanovskij. – 6-e izd., pererab. i dop. – L. : *Mashinostroenie. Leningr. otd-nie*, 1979. – 520 s.
3. Karzhavin V. V. *Metallicheskie pokrytija, nanessenye v rasplavah solej, ih issledovanie i ispol'zovanie v processah obrabotki davleniem* [Tekst] / V. V. Karzhavin // *Trenie i iznos*. – 1992. – T. 13, № 3. – S. 487–495.
4. Karzhavin V. V. *Intensifikacija glubokoj vytjazhki izdelij iz titanovyh splavov* [Tekst] / V. V. Karzhavin, I. V. Uhlov, S. G. Shibeko // *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2013. – № 5. – S. 22–26.
5. Frolov E. A. *Pnevmoударная i statikodinamicheskaja shtampovka slozhnorel'efnyh listovyh detalej uprugimi sredami* [Tekst] : monografiya. / E. A. Frolov, A. Ja. Movshovich, I. V. Manaenkov i dr. – Kh. : *UkrGAZhT, – Kramatorsk* : DGMA, izd. centr NTU «KhPI», 2010. – 286 s.

Фролов Е. А.	– д-р техн. наук, проф. ПолтНТУ
Кравченко С. И.	– канд. техн. наук, доц. ПолтНТУ
Носенко О. Г.	– аспирант ПолтНТУ
Бондарь О. В.	– аспирант ПолтНТУ

ПолтНТУ – Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава.

E-mail: kaftechmash@inbox.ru