

Такой эффект достигается обработкой высокоскоростными потоками неидеальной плазмы, образующейся в результате взрыва и ионизации газообразующих веществ N и C при их одновременной диффузии в сталь, и позволяет получать  $\epsilon$ - фазу карбонитридного характера (карбонитридной структуры Fe-N-C). Карбонитридная фаза, полученная при одновременной диффузии в сталь азота и углерода, по сравнению с чисто азотной обладает меньшей хрупкостью, повышенной твердостью (HV 400-450), высокими химической стойкостью и износостойкостью в 1,6-1,8 раза.

#### Список использованных источников

1. Динамическая перестройка структуры материалов. Коллективная монография под ред. С.М. Ушеренко – Минск НИИ ИП с ОП. – 2000. – 186с.

#### Аннотация

Представлены результаты исследования твердости и износостойкости композиционных материалов на основе сталей 10, 40, P6M5, полученных методом динамического микролегирования. Зарегистрировано повышение износостойкости упрочненной инструментальной стали P6M5 в 1,6-1,8 раза по сравнению с не обработанной. Предложен новый метод поверхностного упрочнения, заключающийся в обработке поверхности стальных изделий высокоскоростными потоками неидеальной плазмы, образующейся в результате взрыва и ионизации газообразующих веществ азота и углерода.

#### Summary

Results of hardness and wear resistance of composite materials on a basis steels 10, 40, P6M5, received by a dynamic doping method are submitted. Increase of wear resistance of strengthened tool steel P6M5 in 1,6-1,8 times in comparison with not processed is registered. The new method of surface hardening consisting in processing of a steel feedstock surface by high-speed flux of collisional plasma, formed as a result of explosion and is offered to ionization of gas-forming substances of nitrogen and carbon.

УДК 621.7.043

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СФЕРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧЕК

**В.Г. Корткевич, С.В. Жигилий**  
Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого  
Московский государственный технический  
университет "МАМИ"

Проведение экспериментальных исследований выполнялось для разработки и обоснования рекомендаций по выбору технологических параметров формообразования сферообразных оболочковых деталей из листа, а также для оценки достоверности полученных теоретических результатов для различных точек деформируемой заготовки с учетом технологических параметров влияющих факторов теоретического анализа, проверки достоверности функциональных зависимостей, выражаемых формулами (таблица 1), полученными при теоретических исследованиях нового процесса [1,2,3]. Экспериментально исследовалось формоизменение сферообразных оболочек в процессах фрикционно-реверсивной вытяжки эластичным пуансоном по жесткой матрице (Рис 1а).

Таблица 1 - Выражение меридиональных напряжений для характерных участков

Участок	Выражение для меридионального напряжения
1-2	$\sigma_{\rho 2} = \beta \sigma_{l(1-2)} \ln \frac{r_1}{r_2} + \tau_{M(1-2)} \frac{r_1^2 - r_2^2}{2 \cdot r_2 \cdot S_0} - \tau_{\Pi(1-2)} \frac{r_1^2 - r_2^2}{2 \cdot r_2 \cdot S_0} - q_{\Pi} \frac{r_1}{r_2}$
2-3	$\sigma_{\rho 3} = \sigma_{\rho 2} + \frac{S_0 \cdot \sigma_{l(2-3)}}{2 \cdot r_M + S_0} \beta \sigma_{l(2-3)} \ln \frac{r_2}{r_3} + \frac{\tau_{M(2-3)} \cdot S_{T(2-3)}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_3 - S_0)} - \frac{\tau_{\Pi(2-3)} \cdot S_{T(2-3)}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_3 - S_0)}$
3-4	$\sigma_{\rho 4} = \sigma_{\rho 3} - \frac{2 \cdot \tau_{M(3-4)} \cdot r_3 \cdot h}{S_0 \cdot (2 \cdot r_3 - S_0)} - \frac{2 \cdot \tau_{\Pi(3-4)} \cdot r_3 \cdot h}{S_0 \cdot (2 \cdot r_4 - S_0)}$
4-5	$\sigma_{\rho 5} = \sigma_{\rho 4} + \beta \sigma_{l(4-5)} \cdot \ln \frac{r_3}{r_5} + \frac{S_0 \cdot \sigma_{l(4-5)}}{2 \cdot R_{C\Phi} + S_0} + \frac{\tau_{M(4-5)} \cdot S_{T(4-5)}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_5 \cdot S_0)} - \frac{\tau_{\Pi(4-5)} \cdot S_{T(4-5)}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_5 \cdot S_0)}$
5-6	$\sigma_{\rho 6} = \sigma_{\rho 5} + \frac{S_0 \cdot \sigma_{l(5-6)}}{2 \cdot r_{T(5-6)} + S_0} + \beta \sigma_{l(5-6)} \cdot \ln \frac{r_5}{r_6}$
6-7	$\sigma_{\rho 7} = \sigma_{\rho 6} + \frac{S_0 \cdot \sigma_{l(6-7)}}{2 \cdot r_{T(6-7)} + S_0} + \beta \sigma_{l(6-7)} \cdot \ln \frac{r_5}{r_6}$
7-8	$\sigma_{\rho 8} = \sigma_{\rho 7} + \frac{\tau_{C\Phi} \cdot S_{C\Phi}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_7 + S_0)}$
8-9	$\sigma_{\rho 9} = \sigma_{\rho 8} + \frac{\tau_{C\Phi} \cdot S_{C\Phi}}{\pi \cdot S_0 \cdot (2 \cdot r_8 + S_0)}$

Все характеристики процессов снимались при различных режимах нагружения.

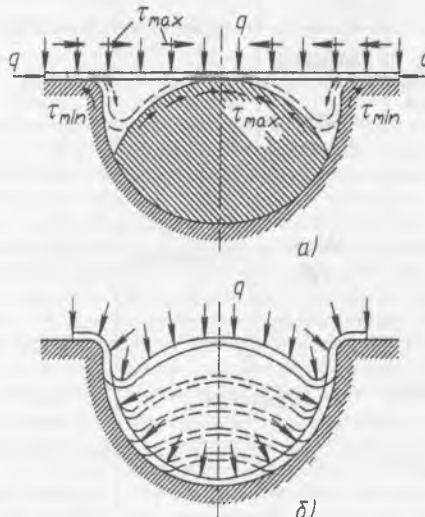


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема фрикционно-реверсивной вытяжки сферических деталей:

- а) исходное положение и процесс формообразования кольцевого рифта (первая стадия),  
 б) выворачивание оформленного рифта и калибровка рельефа (вторая стадия)

Структурная матрица, отображающая количество и условия проведения экспериментальных исследований, определяемые теоретическими исследованиями, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Структурная матрица

Режим нагрузки	Состояние поверхности инструмента			Эффективная динамическая вязкость, Пз	Процесс вытязки	№ образцов
	Матрица	Вкладыш	Пуансон			
Матрица	Фланец и радиус					
1	Воздушно-сухое хозяйственное мыло	Обезжирен		$5 \cdot 10^5$	Фрикционно-реверсивная	40
						41
					42	
					Ревверсивная	32
						33
						63
2	Эффективная смазка	Обезжирен		$10^3$	Фрикционно-реверсивная	43
						44
					34	
					Ревверсивная	35
						54
3	Эффективная смазка	Канифоль	Обезжирен	$10^3$	Фрикционно-реверсивная	45
						48
					39	
					Ревверсивная	55
						56
4	Воздушно-сухое хозяйственное мыло	Канифоль	Обезжирен	$5 \cdot 10^5$	Фрикционно-реверсивная	46
						47
5		Моно корунд				49
						64
						65
6	Эффективная смазка	Моно корунд	Обезжирен	$10^3$	Фрикционно-реверсивная	50
						51
					61	
					Ревверсивная	56
						60
						62
7	Эффективная смазка	Канифоль		$10^3$	Фрикционно-реверсивная	52
						53
					Ревверсивная	57
						58
8	Эффективная смазка	Обезжирен		$10^3$	Фрикционно-реверсивная	39
						10
					Ревверсивная	11
						12

Экспериментальные исследования носили комплексный характер и были направлены на определения ряда параметров технологического процесса.

Для решения поставленных задач наиболее приемлемым оказался метод координатных сеток. В отличие от метода муаровых полос и поляризованно-оптического метода, применение которых, как правило, ограничивается исследованием образцов с плоскими поверхностями, данный метод позволяет проверить исследования деформируемого состояния сферических оболочковых деталей. Метод координатных сеток проще и нагляднее, кроме того, он обладает достаточной точностью и надежностью, диапазон его применения достаточно широк.

В качестве материала заготовок использовались наиболее распространенные в конструкциях летательных аппаратов сплавы на алюминиевой основе:  $AM_{Ц}AM$  и  $D16M$ , а также нержавеющая сталь аустенитного класса  $12X18H10T$ .

Получены типовые полуфабрикаты правильной формы. После проведения экспериментов каждый образец-полуфабрикат подвергался тщательному измерению в четырех направлениях под углом  $90^\circ$  к направлению проката.

По искажению диаметров окружности координатной сетки была получена информация о напряженном состоянии, главных деформациях (тангенциальной, меридеальной и радиальной или толщинной), интенсивности деформации, которые определились по соотношениям:

$$\text{тангенциальная деформация } \varepsilon_\theta = \frac{r_i}{r_0} - 1;$$

$$\text{радиальная (толщинная деформация) } \varepsilon_S = \frac{S_i}{S_0} - 1;$$

$$\text{меридеальная деформация } \varepsilon_\rho = -(\varepsilon_\theta + \varepsilon_S);$$

Интенсивность деформации определялась

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_\rho - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_S)^2 + (\varepsilon_S - \varepsilon_\rho)^2}$$

Проверенный анализ результатов экспериментальных исследований первого перехода (Рис 1) показало что процессом, обеспечивающим наименьшее утонение стенки сферообразной оболочковой детали является процесс фрикционно-реверсивной вытяжки с активным влиянием кольцевого эластичного пуансона. Эксперименты подтвердили правильность выбора смазочных средств и интенсификаторов трения. Наименьшее утонение стенки сферической оболочки получается при применении эффективной смазки оптимальной вязкости и применении в качестве интенсификаторов трения монокорунда и канифоли. При применении монокорунда (режим №6) абсолютное утонение составило 9%, при применении канифоли (режим №3) – 6,5%, при применении в качестве интенсификатора трения тщательного обезжиривания поверхности – 5%. Худшие результаты были получены при режимах №4 и №5, где в качестве смазки применялось воздушно-хозяйственное мыло (12% и 12,5% соответственно).

На второй стадии деформирования происходит выворачивание оформленного рифта (рис. 1 б) и калибровка рельефа. Реверсивная калибровка происходит в матрице после извлечения из нее опорного вкладыша. Калибровка производится с применением смазки оптимальной вязкости, нанесенной с наружной стороны торовидного полуфабриката. Допускается наносить смазку непосредственно на стенку внутренней полости матрицы.

Так как при вывороте заготовки имеет место изгиб со сжатием, то на второй стадии деформирования возможно утонение, и только при калибровке деталь утоняется.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных показало хорошо сходимость результатов (в пределах 8%). Установлено, что в качестве материала эластичных пуансонов рекомендовано применять резину на основе искусственного и естественного каучука марок З311 и 1847.

Экспериментальные исследования подтвердили правильность методики при синтезировании нового процесса: определение экономических затрат по конструкции детали как произведение средней интенсивности напряжений на смещенный объем.

При сопоставлении энергетических затрат установлено, что наиболее оптимальным режимом формоизменения с минимумом энергии деформирования является режим фрикционно-реверсивной вытяжки с применением эффективной смазки оптимальной вязкости и интенсификатора трения монокорунда.

Посредством прямых экспериментов проведено подтверждение методики формирования оптимальных условий протекания процесса с использованием эффективных смазок и интенсификаторов трения.

В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны критерии и функции для количественного анализа напряженно-деформированного состояния в различных зонах сферообразной оболочковой детали при фрикционно-реверсивной штамповке-вытяжки эластичным пуансоном по жесткой матрице.

Изучение влияния исходной толщины заготовки на напряженно-деформированное состояние заготовки в опасном сечении показало, что чрезмерное утонение стенки сферической оболочковой детали в процессе формообразования ведет к необходимости увеличения ее толщины.

Для эффективного уменьшения сил внешнего контактного трения на фланце и на вытяжном радиусе матрицы необходимо приближение режима трения к гидродинамическому подбором смазочных материалов эффективной (оптимальной) вязкости по заданной (известной) скорости деформирования заготовки и величине максимальных контактных давлений на вытяжном радиусе матрицы, а также увеличение сил поперечных сил контактного трения на пуансоне путем тщательного обезжиривания последнего, или применение интенсификаторов трения (канифоли, монокорунда) в сочетании с использованием схем штамповки, обеспечивающих прижатие штампуемой заготовки к пуансону в любой момент формообразования.

Создавая оптимальные режимы трения на контактных поверхностях, есть перспектива еще более существенно расширить технологические возможности нового процесса фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразных оболочковых деталей.

#### Список использованных источников

1. Жигилий С.В., Короткивич В.Г. Анализ процессов формообразования тонкостенных оболочек для летательных аппаратов // Современные проблемы машиностроения. – Гомель: ГПИ, 1998. – Т.2 – С. 175...176.
2. Жигилий С.В., Короткивич В.Г. Методы увеличения утонения и неравномерности толщины стенки сферообразных оболочек при фрикционно-реверсивной вытяжке // Прогрессивные технологии обработки материалов. – Минск: БГПА, 1998. – С. 57...58.
3. Жигилий С.В., Короткивич В.Г. Исследование технологии получения тонкостенных оболочковых деталей // Новые конкурентно способные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка. – Могилев: ММИ, 2000, – С. 68...69.
4. Жигилий С.В., Короткивич В.Г. Разработка и исследование процесса получения сферообразных деталей ЛА // Современные проблемы машиностроения. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000. – С. 175...177.

5. Короткивич В.Г., Жигилий С.В. Теория и технология изготовления высококачественных сферообразных оболочек с равномерной толщиной стенки. Сборник трудов первой международной научно-практической конференции //Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. – Мн: БНТУ, 2002. – Вып. 1. – Т. 2. – С. 273-276.
6. Исаченко Е.И., Жигилий С.В., Короткивич В.Г. Влияние основных параметров процесса формообразования сферообразных оболочек на напряжения, деформации и утонение стенок заготовки//Машиностроение. – Мн., 2003. – Вып. 19. – С. 485-490.

УДК 666.762

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И  
СВОЙСТВА ЛЕГКОВЕСНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ  
ПОРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Е.М. Дятлова, С.Л. Радченко**  
*УО «Белорусский государственный  
технологический университет»*

Создание и применение новых более эффективных видов легковесных тугоплавких и огнеупорных теплоизоляционных материалов, совершенствование тепловой изоляции является актуальной задачей современного материаловедения, поскольку приводит к сокращению расхода топлива и энергии, интенсификации теплотехнических процессов, экономии ценного огнеупорного сырья, созданию благоприятных условий труда.

Проведенные ранее исследования [1] показали реальную возможность и целесообразность применения местных сырьевых материалов и отходов промышленности для получения тугоплавких теплоизоляционных материалов. Керамическую матрицу образцов составили местная тугоплавкая глина и огнеупорный наполнитель - шамот алюмосиликатный (бой огнеупорных изделий). Для синтеза материалов была принята классическая схема получения огнеупорных легковесов способом введения и последующего выжигания выгорающих добавок. Создание пористой структуры осуществлялось с использованием таких выгорающих компонентов (порообразователей) как торф, гидролизный лигнин, сапрпель, бурый уголь, кокс каменноугольный, опилки древесные. Ряд синтезированных материалов по своим теплофизическим и прочностным свойствам удовлетворяет требованиям действующего стандарта на легковесные огнеупорные (теплоизоляционные) материалы – ГОСТ 5040-96.

Целью данной работы является исследование структуры и свойств легковесных материалов, полученных с применением комплексных порообразователей.

Введение в состав керамических масс комплекса (комбинации) материалов с определенной целью широко распространено (например, использование комплексных плавней для интенсификации спекания, применение двух и более глин для расширения интервала спекания и т.д.) и позволяет интенсифицировать технологический процесс производства, повысить уровень свойств и др. Однако, исследования, направленные на изучение и использование комбинаций выгорающих компонентов (порообразователей) для образования пористой структуры, не многочисленны.

Для создания пористой структуры использовались комбинации органических, органо-минеральных и минеральных добавок, такие как: лигнин – сапрпель, лигнин – доломит.