

УДК 621.73

Скрябин С.А.<sup>1</sup>, Барабой Н.Н.<sup>2</sup><sup>1</sup> НПП «Ухналь». Украина, г. Киев.<sup>2</sup> ГАКХ «Артем». Украина, г. Киев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT3-1 ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ В КАЛИБРАХ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

## Анотація

Наведені результати експериментальних досліджень пластичності титанового сплаву VT3-1. Сформульовані технологічні рекомендації та висновки щодо деформації титанових заготовок.

## Abstract

There have been given the results of experimental investigations of VTZ-1 titanic alloy plasticity. Technological recommendations and conclusions concerning the deformation of titanic pieces have been formulated.

Основная часть ( $\approx 70\%$ ) номенклатуры вальцуемых заготовок из титановых сплавов на предприятиях авиационной промышленности, где проводилось освоение процесса вальцовки, имела коэффициент вытяжки до  $\lambda_{\text{общ}} = 6,0-6,5$ .

Остальная номенклатура – до  $\lambda_{\text{общ}} = 8$ . Встречалась номенклатура с общим коэффициентом вытяжки  $\lambda_{\text{общ}} = 10$ .

Появление ковочных вальцов модели СА 1035 с дополнительной передвижной опорой на Ташкентском авиационном заводе, позволяющих расположить на рабочей длине достаточное количество вальцовочных штампов, и производственной необходимостью получения вальцованных заготовок с коэффициентами вытяжки  $\lambda_{\text{общ}} = 8-10$ , вынуждает определиться с возможностью многопереходной вальцовки заготовок из титановых сплавов.

В данной работе запас пластичности будет определяться экспериментальными исследованиями, которые будут состоять в измерении температуры заготовок во время прокатки и фиксации условий возникновения трещин на газонасыщенной поверхности титановых сплавов.

Для проведения экспериментов были взяты заготовки из титанового сплава VT3-1 с размерами  $\varnothing 55, 60, 75$  мм и длиной 150 мм из расчета вальцовки трех заготовок в одном калибре при одинаковых условиях деформации. Интервал ковочных температур был выбран согласно инструкции ВИАМ ПИ 1.2.108-79 для титановых сплавов [1], который для деформации сплава VT3-1 составлял  $960-850^\circ\text{C}$ .

При проведении экспериментальных исследований были использованы ковочные вальцы модели СА1335 и СА1035 с межцентровыми расстоянием  $\varnothing 320$  мм. Нагрев заготовок осуществлялся в электрических печах, оборудованных пирометрическими устройствами, обеспечивающими автоматическое регулирование и запись темпе-

ратуры 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 многопереходной 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 крутами на отрезных станках, очищались на дробеструйных установках от загрязнения. Для защиты поверхности заготовок от окисления и газонасыщения, 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, заготовки загружались в печь и укладывались на под таким образом, чтобы расстояние между отдельными заготовками было больше двух диаметров. После нагрева заготовок до температуры печи, делалась выдержка времени для выравнивания температуры по сечению заготовки. Длительность выдержки рассчитывалась по формуле

$$T = 1/3d_3,$$

где  $t$  – время выравнивания температуры, мин;  
 $d_3$  – диаметр заготовки.

Авторы в работе [1] рекомендуют для равномерного прогрева титановых сплавов по сечению не менее 40 с на 1 мм толщины заготовки при температурах  $\beta$ -области ( $\approx 1000^\circ\text{C}$  и выше) и 60 с на 1 мм толщины заготовки при температурах  $\alpha + \beta$  области, а с целью уменьшения окисления предотвращения значительного роста зерна, время пребывания заготовок в печи должно быть минимальным, необходимым для нагрева всего сечения.

В первой серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 55 \times 130$  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.

Вальцованные заготовки имели вертикально расположенные трещины глубиной 0,15–0,2 мм на контактной поверхности после вальцовки как в овальном, так и в квадратном калибрах. Наличие мелких трещин на поверхности вальцованных заготовок объясняется охрупчиванием альфирированного слоя. Вальцованные заготовки с применением защитно-технологической эмали (ЗТЭ) подобных трещин на поверхности не имели.

Во второй серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 55 \times 130$  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. На заготовках после вальцовки в овальном и в ромбическом калибрах имелись трещины глубиной 0,2–0,3 мм, особенно на боковых поверхностях, переходящие в тело заготовки глубиной до 0,15–0,3 мм. 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 подобных дефектов не имели.

В третьей серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 55 \times 170$  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 заготовок, не контактирующих с металлом, глубиной до 0,2 мм и на участках, где была нарушено и отсутствовало защитное покрытие.

В четвертой серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 60 \times 150$  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 альфирированного 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 ЗТЭ 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 защитного покрытия, на поверхностях, не контактирующих с вальцовочными штампами (в основном на переходных участках), наблюдалось увеличение шероховатости поверхности. Трещин не наблюдалось.

В пятой серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 60 \times 180$  мм вальцевались в овальном, овално-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. В последнем переходе, на концах заготовок наблюдалось незначительное переполнение калибров (длина участков составляла 10–12 мм) вальцованных как с обмазкой, так и без неё.

Заготовки покрытые ЗТЭ и вальцованные в названных калибрах, дефектов не имели. Вальцовка заготовок без покрытия привела к появлению сетки мелких трещин глубиной до 0,2 мм на боковых поверхностях заготовок не контактирующих с вальцовочными штампами, особенно после вальцовки в ромбическом калибре. Эксперименты показали, что протяженность участка с нарастающим обжатием не оказывает существенного влияния на пластичность металла в указанных условиях.

В шестой серии экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 75 \times 750$  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 экспериментов, заготовки с размерами  $\varnothing 65 \times 150$  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 калибрах, затем кантовалась на  $90^\circ$  и вальцевалась в первом ромбическом калибре. Последующим калибром был второй ромбический и заготовка после вальцовки кантовалась на  $90^\circ$  и опять в нем вальцевалась.

Заготовки вальцованные с применением ЗТЭ, после пятого перехода имели сетку мелких трещин глубиной до 0,2 мм на переходном участке с нарастающим обжатием.

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 применения ЗТЭ или в местах, где нарушено покрытие, 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.

Изучение данных об изменении температуры заготовок в этой серии опытов выявило понижение температуры заготовок, находящихся в печи, после открытия заслонки на 20–30°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, помещение заготовки в специальные клещи и контакта заготовки с поверхностью вальцовочных штампов 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 входу 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 110–150°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], рис.1, которое отвечало бы поставленным требованиям.

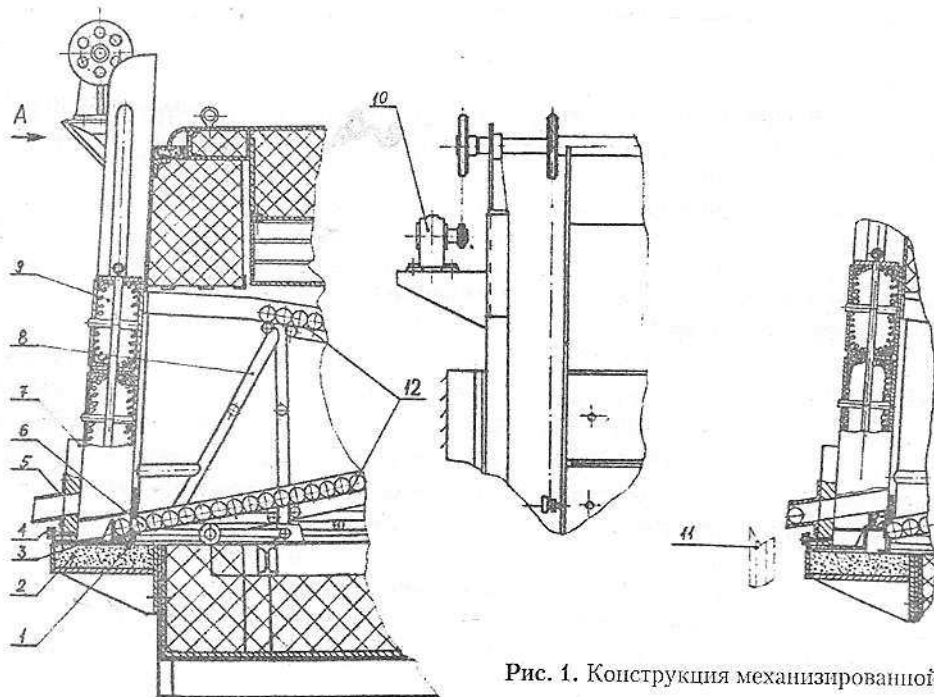


Рис. 1. Конструкция механизированной электрической печи

Печь оборудована специальной механизированной дверью, обеспечивающей выдачу нагретых штучных заготовок и выдвигной наклонной этажеркой, позволяющей самопроизвольно накатываться заготовками к двери печи. Этажерка рассчитана на разовый нагрев партии заготовок определенного размера диаметром до 80 мм и длиной до 400 мм. Загрузка этажерки заготовками производится вне рабочего пространства. Ввод этажерки в рабочее пространство печи и ее вывод механизированы.

После ввода этажерки 8 с заготовками 6 в рабочее пространство электропечи, дверь 9 опускается вниз и своим ребром входит в песок песочного затвора 2, надежно изолируя рабочее пространство электропечи от наружной атмосферы. При опускании двери 9 ее нижний торец воздействует на упор этажерки 1, фиксирующий силой трения заготовки 6 на направляющих этажерки 12, при этом заготовки получают свободу перемещения и под силой тяжести скатываются в полость двери 9, где задерживаются фиксатором 3. Фиксатор 3 имеет возможность перемещаться в теле двери винтом 4 на требуемый диаметр заготовки. По достижении требуемой температуры нагрева заготовок для их выдачи включается электродвигатель приводного механизма 10, который с помощью цепной передачи осуществляет подъем двери с одновременным подъемом заготовки. Последующая заготовка отжимается задней стенкой двери 9 внутрь рабочего пространства электропечи; в то же самое время фиксатор 3 остается неподвижным; и при подъеме заготовки 6 вместе с дверью 9 на определенную высоту, фиксатор 3 утапливается и не препятствует перемещению заготовки 6 в наклонной полости двери.

Приводной механизм 10 осуществляет подъем двери на высоту, при которой ее наклонная полость совмещается с наклонными полостями плиты 7 и направляющей 5, в этот момент заготовка свободно скатывается и попадает в приемное устройство 11. После опускания двери в нижнее положение и замыкания ее с песочным затвором 2 весь цикл работы устройства повторяется.

Электрическая схема включения и выключения механизма выдачи заготовок синхронизирована с цикловой программой работы всего комплекса.

Для передачи заготовки от печи на лоток загрузочного устройства предусмотрен промежуточный лоток – склиз 11 с изменяющимся наклоном.

Кроме этого, результаты проведенных исследований по вальцовке заготовок из титановых сплавов показали, что для титановых сплавов BT22, OT4 и BT3-1 можно применять многоручьевую вальцовку (4–5 и более переходов) при использовании защитно-технологической эмали, соблюдения режима нагрева и сохранения темпа вальцовки 22–27 секунд 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 сплава BT3-1 в три перехода с одного нагрева, с обязательным

применением ЗТЭ, которая существенно повышает пластичность титановых сплавов, за счет уменьшения теплоотдачи, предохраняет их от насыщения поверхностного слоя газами атмосферы.

### Выводы

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

1. 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, образуя надрывы и трещины. Кроме этого, охлажденный поверхностный слой, имея повышенную твердость, вызывает неравномерное изнашивание калибров, снижает коэффициент трения и ухудшает условия захвата.

2. 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.

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. Это объясняется стремлением овальной или ромбической заготовки 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 титанового сплава BT3-1 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. Проведенные эксперименты позволили определить понижение ковочной температуры заготовок, находящихся

в печи с момента открытия заслонки, во время переноса заготовки от нагревательного оборудования к ковочным вальцам, помещения заготовки в специальные клещи и контакта заготовки с поверхностью вальцовочных штампов в процессе деформации. Названные причины существенно влияют на появление мелких трещин на поверхности вальцованных заготовок. Температура заготовок после вальцовки в третьем переходе (иногда после второго) находится на нижнем пределе границы температурного интервала ковочных температур.

Отсутствие оборудования для нагрева заготовок из титановых сплавов, обеспечивающего герметичность рабочего пространства и надежность его изоляции от поступления наружного воздуха, а также механизации загрузки и выгрузки заготовок затрудняет его эксплуатацию.

7. 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 вхождению 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°C для осуществления четырех–пяти (и более) переходной вальцовки и изготовления качественных штампованных поковок.

8. Проведенные исследования показали, что для титанового сплава ВТЗ-1 можно применять многоручье-

вую вальцовку (4–5 и более переходов) с приведенными в работе коэффициентами вытяжки и использованием ЗТЭ, соблюдения режима нагрева и сохранения темпа вальцовки 22–27 секунд 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, с обязательным применением ЗТЭ, которая существенно повышает пластичность титановых сплавов, за счет уменьшения теплоотдачи, предохраняет их от насыщения поверхностного слоя газами атмосферы.

#### 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: Покрyтия 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: Покрyтия 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.

УДК 620.178.15

Никитин Ю.А.

Национальный авиационный университет. Украина, Киев

### НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИСПЫТАНИЯХ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

#### Анотація

*Досліджені нові перспективні композиційні легковагі матеріали авіаційно-космічного призначення. Наведені результати експериментальних досліджень по створенню легковагих матеріалів стійких до абляційного впливу. Показано, що методи мікрOMEХАнічних іспитів можуть бути використані для ідентифікації абляційних властивостей та оцінки процесів створення легковагих матеріалів.*

*Встановлено, що легковагі матеріали композиційної системи «RIPOR-TRB» можуть підвищувати опір до абляційного руйнування моделей теплозахисних панелей.*

#### Abstract

*The new perspective composite lightweight materials for rockets and space aircraft are investigated. The experimental researches on creation of lightweight materials stable to ablative effect are outcomes. The methods of micromechanical tests can be used for evaluation ablative characteristics and processes to creation lightweight materials.*

*Is established, that lightweight composition material of the system: "RIPOR-TEG" can increase resistance to ablative destruction of heat-shielding models.*