

тальные исследования для уточнения фактического закона движения вибротреки. При условии равномерного движения деки, закон движения при использовании центробежного вибропривода – прямолинейно направленные колебания.

Осциллограммы виброперемещения деки в верхней и нижней части приводятся на рис. 5, 6. С помощью полученных осциллограмм для наглядности были построены графики перемещения деки в осях $A_x - A_y$ (рис. 7, 8). Графики показывают, что закон движения вибротреки практически совпадает с прямолинейно направленным движением.

При этом наблюдаются следующие закономерности движения деки, полученные экспериментально [1]. Если вертикальная проекция амплитуды колебаний в верхней части деки существенно превышает амплитуду колебаний в нижней ее части, то центр тяжести подвижной части вибросепаратора смещен вверх относительно плоскости действия вынуждающей силы вибраторов. При увеличении массы дополнительного груза, установленного ниже плоскости действия центробежной силы вибраторов, вертикальная проекция амплитуды колебаний рабочего органа выравнивается по длине деки. Аналогичным образом изменяются полная амплитуда колебаний и угол вибрации. Каса-

тельная проекция амплитуды колебаний практически не изменяется в верхней и нижней части деки.

Литература

1. Лапшин В. Л., Демаков Е. И., Тельнов Н. В. Исследование неравномерности движения деки вибросепаратора // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2008. С. 214 – 219.
2. Лапшин В. Л., Демаков Е. И., Тельнов Н. В. Влияние неравномерности движения деки на процесс вибросепарации минерального сырья // XI Междунар. конф. (МК-6) «Современные технологии освоения минеральных ресурсов». Красноярск, 2008. С. 231-237.
3. Демаков Е. И. Лабораторный вибрационный сепаратор с инерционным виброприводом // Вестн. ИрГТУ. 2007. Т. 2, № 1 (29). С. 14–17.
4. Лапшин В.Л., Тельнов Н. В. Исследование влияния амплитуды колебаний деки на процесс вибросепарации слюдяного сырья // Горн. информ.-аналит. бюл. М. : Изд-во Моск. горн. ун-та, 2010. № 6. С. 251-265.

УДК 621.375.8

*В.И. Шастин, С.В. Елисейев**

РАЗВИТИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Рассматриваются возможности активизации в использовании лазерных технологий. Определяются перспективные направления применения лазеров. Показано, что эффективность лазерных технологий во многом определяется возможностями формирования среды в зоне взаимодействия лазера с поверхностью: технологии восстановления поверхностей, закалка и др.

Ключевые слова: *лазерные технологии, лазерная обработка, восстановление поверхностей, закалка*

* – автор, с которым следует вести переписку

Широкое внедрение лазерных технологий сдерживается, в основном, отсутствием надежных технологических лазеров отечественного производства. Это обстоятельство, несмотря на значительные затраты, вынуждает промышленные предприятия приобретать лазерную технику за рубежом, преимущественно в виде лазерных технологических комплексов, таких, как TCL 2530 (Германия), Хебр (Болгария) и т. п., что подтверждает потребность в освоении эффективных методов обработки материалов. Кроме возможности обработки практически любых материалов с высоким качеством и производительностью, благодаря уникальным свойствам лазерного излучения обеспечивается высокий уровень трудо- и энергосбережения, а в ряде случаев такие технологии являются единственными для решения важных технологических задач.

Немаловажное значение в аспекте активизации работ по промышленному внедрению лазерных технологий имеет научный потенциал отечественной науки, приобретенный в 60-90-е годы прошлого века при активном изучении процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом. Значительная часть фундаментальных работ российских ученых в данном направлении остается до настоящего времени невостребованной. Учитывая это, важно прогнозировать области и объемы внедрения лазерных технологий, выделив из них наиболее перспективные, предусматривающие использование надежных технологических лазеров. К последним традиционно, с учетом практического опыта, относят CO₂-лазеры, обладающие широким диапазоном регулировки мощности импульсно-периодического и непрерывного режимов работы. Вместе с тем, в последнее время становится очевидным, что на смену этим моделям идут твердотельные лазеры с диодной накачкой и, вполне вероятно, волоконные лазеры.

I. К наиболее практически значимым видам лазерной обработки в общем машиностроении традиционно относят тер-

мообработку, резку, сварку, наплавку и поверхностное легирование, как наиболее изученные и апробированные на практике процессы. Учитывая особенности лазерного излучения, все эти технологические приемы можно осуществлять на универсальной лазерной установке (комплексе) при незначительной переностройке, обеспечив оптимальные режимы обработки и подачу в рабочую зону различных сред и материалов. Все эти виды обработки могут осуществляться минимальным числом исполнителей на одном участке предприятия, а иногда – на одном технологическом комплексе.

Данное обстоятельство может быть подтверждено диаграммой примерных показателей эффективного использования различных технологических процессов лазерной обработки материалов в зависимости от уровня энергетических параметров лазерных технологических установок (ЛТУ) (рис. 1) на примере одного их ведущих предприятий авиационной промышленности.

Кроме рассмотренных на диаграмме перспективных методов лазерной обработки в области производства и ремонта авиатехники, не менее актуальным является применение лазерных контрольно-измерительных центрирующих и диагностических систем и оборудования. Данное направление обусловлено не только уникальными свойствами лазерного излучения малой мощности, таких, как высокая монохроматичность, когерентность, поляризация и узкая направленность, но и конструктивными особенностями этих приборов. Они позволяют выстраивать лазеры в измерительные и центрирующие системы в качестве высокоразрешающих датчиков контроля, удобно и эффективно передавать световую энергию к объекту контроля или в зону технологической обработки, автоматически управлять процессом по оптимальной программе и т. п. Их применение становится все более эффективным практически на всех этапах создания самолета, начиная с проектирования и кончая серийным производством.

Наиболее важными и перспективными из них являются:

- моделирование и воспроизведение объемных форм и размеров деталей узлов и агрегатов самолетов с целью бесплазмой увязки размеров;

- монтаж технологической оснастки и ее безмакетная увязка;

- неразрушающий контроль деталей на предмет выявления остаточных напряжений, усталостных микротрещин, пористости материалов и т. п.;

- бесконтактный активный контроль геометрии деталей;

- высокоразрешающий контроль чистоты топлива, гидросмеси и т. п.;

- контроль качества изготовления деталей из композиционных материалов и сотовых конструкций;

- высокоточная сборка агрегатов по координатно-фиксирующим отверстиям с базой на опорные лазерные лучи;

- разметка и увязка базовых осей на агрегатах с целью создания дополнительных сборочных баз для внестапельной сборки;

- стыковка, выставление и нивелирование агрегатов самолетов и другие процессы.

Широкие возможности для совершенствования технологической подготовки производства, контроля геометрических форм, возможности регистрации и воспроизведения объемных форм, методов хранения и обработки информации открывают такие перспективные направления, как голография и интерферометрия.

II. В настоящей работе наибольшее внимание уделяется технологическим процессам обработки материалов, а именно термоупрочнению, повышающему работоспособность инструмента объектов обработки, и лазерной наплавке, предусматривающей восстановление первоначальных размеров и форм изношенных деталей авиатехники с последующим их вторичным использованием. Повышенный интерес к этим видам обработки материалов обусловлен на данном этапе не только наибольшими показателями их

эффективного промышленного использования (см. рис. 1), но и объективно существующей тенденцией к сращиванию и интеграции авиастроительного и авиаремонтного профилей деятельности современных предприятий отрасли.

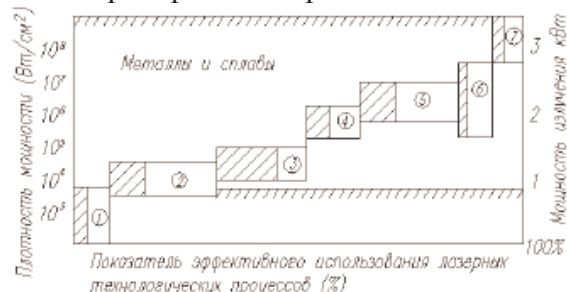


Рис. 1. Диаграмма эффективного использования лазерных технологических процессов: 1. Раскрой и резка неметаллических материалов; 2. Термообработка (закалка, отжиг, отпуск), легирование; 3. Наплавка; 4. Сварка; 5. Резка; 6. Прошивка отверстий (перфорирование); 7. Прочие виды обработки.

□ – примерный объем использования того или иного вида лазерной обработки материалов при изготовлении новой авиатехники;

▨ – то же при использовании лазерной обработки в технологических процессах ремонтного профиля.

Среди различных видов лазерной термообработки значительный интерес представляет процесс термоупрочнения поверхности изделий, обусловленный высокой скоростью нагрева и охлаждения локальной зоны обработки в короткий интервал времени. Это позволяет избежать объемного разогрева объекта, минимизировать зону термического влияния, исключить деформации и коробление обрабатываемой детали или конструкции в целом. Поверхность может обрабатываться без оплавления, с сохранением исходной шероховатости поверхности, или с незначительным оплавлением, улучшая при этом параметры шероховатости, снижая период прирабатываемости сопрягаемых поверхностей, или, наконец, с оплавлением, вызывая изменение рельефа поверхности. При этом глубина зоны за-

калки будет, соответственно, увеличиваться.

Последний вариант применяется, когда, кроме термоупрочнения, необходимо улучшить условия смазки сопрягаемых деталей за счет аккумуляирования и создания дополнительных масляных микрообъемов в виде каналов при непрерывной лазерной обработке, либо микрократеров при импульсно-периодическом режиме обработки. К основным параметрам лазерной закалки относятся: для импульсных ЛТУ W – энергия в импульсе (Дж), τ – длительность импульса (мс.); для лазеров непрерывного режима излучения – U – мощность излучения (Вт), v – скорость взаимного перемещения луча (м/с) относительно обрабатываемой поверхности и. Общий для того и другого типов лазеров параметр $d_{\text{л}}$ – диаметр лазерного пятна (мм). Объединяющим эти величины параметром является величина E – плотность мощности излучения (Вт/см²); $E = P / S_{\text{л}}^2 = 4P / \Pi d_{\text{л}}^2$, где $S_{\text{л}}$ – площадь лазерного пятна (см²). Для определения поглощенной плотности мощности q необходимо учитывать коэффициент поглощения A , тогда $q = AE$. При импульсной термообработке без оплавления поверхности пороговая плотность мощности излучения для различных сталей имеет значение $q_n = (22 \dots 24) \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$ [1], при этом максимальная температура на поверхности материала не должна превышать температуру плавления, т. е. $T_{\text{max}} \leq T_{\text{пл}}$.

Принимая одномерную модель нагрева полубесконечного тела поверхностным тепловым источником с постоянной по времени интенсивностью, для расчета q_n требуемой для достижения T_{max} можно принять соотношение [2]

$$q_n = T_{\text{max}} \alpha c \rho \sqrt{\pi} / 4dt, \quad (1)$$

где α – температуропроводность; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность материала; t – время нагрева.

Для лазерной обработки непрерывным источником излучения

$$t = d_n / v; \quad q = U / S_{\text{л}}.$$

Принимая $T_{\text{max}} = T_{\text{пл}}$, величина q_n соответствует максимальной глубине закалки без оплавления поверхности; при $T_{\text{max}} > T_{\text{пл}}$ реализуется закалка с оплавлением на большую величину термоупрочненного слоя h . Величина h для различных сталей составляет 0,15...1,5 мм.

В отличие от известных процессов и методов термоупрочнения закалкой, нагрев при лазерной термообработке является не объемным, а поверхностным. Закалка осуществляется за счет мгновенного нагрева и охлаждения со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода во внутренние слои металла (до 10⁴ град/с). Формирование структуры при лазерном термоупрочнении имеет свои особенности, поскольку механизм лазерной закалки заключается, в основном, в создании структуры с повышенной дефектностью. В

большинстве термоупрочненных материалов наблюдается измельчение зерна (аморфизация), фиксируется более высокая твердость поверхностного слоя по сравнению с традиционными методами термической обработки, снижается коэффициент трения и одновременно повышаются износостойкость, коррозионная и усталостная прочность. При лазерной закалке, как правило, обрабатывается не вся рабочая поверхность, а только ее часть, подверженная износу, что позволяет снизить энергетические затраты на обработку. При этом практически исключается вероятность образования объемных деформаций и необходимость последующей дополнительной термической обработки (отпуска).

III. Лазерная закалка эффективно применяется для большинства железоуглеродистых и легированных сталей, чугунов и других известных сплавов. При этом, как доказано многими исследованиями [3, 4, 5], износостойкость термоупрочненных материалов может увеличиваться в 10-12 раз для чугунов, в 3-8 раз для углеродистых и легированных сталей

в зависимости от их состава. Такого же уровня повышения износостойкости можно достичь и для ряда цветных сплавов.

Легкая управляемость излучением лазера в пространстве позволяет вести обработку труднодоступных зон поверхности обрабатываемых деталей, в том числе локальных участков, соизмеримых с диаметром сфокусированного пятна.

Важным критерием эффективности данного метода термообработки является параметр отношения площади (объема) обрабатываемых участков к общей поверхности (объему) детали. Так, при нанесении упрочняющих полос по винтовой линии гильзы цилиндра ДВС их износостойкость увеличивается в 3,5 раза без заметного снижения износа сопрягаемых деталей – поршневого кольца и самого поршня. Лазерная закалка шатунных и опорных шеек коленчатого вала ДВС, как показали испытания, позволила увеличить их ресурс в два раза. Более значительное увеличение ресурса (в 3-4 раза) достигнуто при испытании тормозных барабанов, выжимного диска сцепления и других деталей автомобильной техники. При этом обрабатываемая площадь объекта может составлять 10-15 % от общей его поверхности. Использование одной ЛТУ на машиностроительном предприятии способно обеспечить термообработку нескольких миллионов деталей в год.

Как показали испытания, лазерная закалка способна повысить не только износостойкость конструкционных материалов, но и их коррозионную стойкость. Это нашло подтверждение при испытании элементов запорной арматуры в условиях влияния высокой температуры, влаги и абразива – срок их службы возрос более, чем в 2 раза.

Применительно к авиационным конструкционным сплавам, лазерная термообработка оказывает положительное влияние на алюминиевый сплав Д16 АТ, широко используемый для изготовления силовых элементов планера и как обшивочный материал воздушного судна. Наряду

с повышением коррозионной стойкости (почти в 2 раза при испытаниях на общую коррозию) наблюдается существенное увеличение усталостной и коррозионно-усталостной долговечности, соответственно, в 4 и почти в 2 раза.

Перспективность лазерного термоупрочнения конструкционных материалов, широко используемых в авиастроении, подтверждена лабораторными и стендовыми испытаниями целого ряда узлов и деталей, наиболее подверженных износу и разрушениям. К ним относятся детали и узлы шасси самолета, трансмиссии вертолета, узлов поршневого и газотурбинного двигателей, подшипниковых, шлицевых и зубчатых элементов конструкций. На основе изучения структурных и фазовых превращений в материалах, обрабатываемых лазерным излучением, сформулированы технологические рекомендации, имеется значительный статистический материал по практическому применению данного метода термоупрочнения.

IV. Учитывая современную специфику развития отечественного авиастроения, в условиях рыночных отношений и жесткой конкуренции предприятия отрасли неизбежно сталкиваются с проблемами восстановительного ремонта произведенной авиатехники и технологического оборудования. В этих условиях становится очевидной перспектива освоения и внедрения прогрессивных технологий восстановления изношенных деталей и узлов авиатехники. Лазерная наплавка при этом может оказаться вполне конкурентоспособной основой в освоении и развитии авиаремонтного профиля предприятия.

Практика восстановления изношенных деталей в ремонтном производстве автомобилей и других машин подтвердила перспективность данного направления. Авиаремонтная отрасль, несмотря на сложности межведомственных согласований, достигла так же заметного прогресса в освоении восстановительных технологических процессов с примени-

ем лазерной наплавки. Целый ряд восстановленных деталей авиатехники прошли, кроме стендовых, летные испытания. Технологии восстановления этим методом широко внедряются в серийное производство. На рис. 2 показаны детали авиатехники, восстановленные методом лазерной наплавки.



Рис. 2. Детали авиатехники, восстановленные методом порошковой лазерной наплавки.

Актуальность развития данного направления становится еще более очевидной с учетом того, что современная отечественная авиатехника в большинстве своем морально и физически устарела и требует значительных затрат на восстановление. Известно, что около 50 % расходов при ремонте составляют расходы на приобретение запасных частей, основная часть которых поступает на замену изношенных деталей [6]. Существенно уменьшить объем расходов представляется возможным путем восстановления ранее эксплуатировавшихся деталей. Это позволит снизить расходы на запасные части более, чем в 1,5 раза, благодаря использованию прогрессивных методов восстановления. Кроме этого, можно сэкономить сотни тонн высококачественного металла и значительно сократить трудозатраты на производство запасных частей.

V. Исследованиями доказано, что показатели работоспособности и износостойкости восстановленных методом лазерной наплавки деталей зачастую в несколько раз превышают эти показатели новых деталей, обуславливая дополни-

тельный резерв снижения трудозатрат на восстановительные работы и повышение уровня надежности авиатехники. К основным преимуществам лазерной наплавки по сравнению с традиционными методами относится значительное снижение остаточных напряжений и деформаций восстанавливаемых поверхностей благодаря той же локальности и кратковременности воздействия источника нагрева, а также высокой скорости охлаждения за счет теплоотвода вглубь материала.

Кроме этого, высокая концентрация энергии в зоне нагрева дает возможность вести процесс со значительной скоростью обработки. Возможность формирования наплавленного слоя с заданными свойствами обеспечивается за счет подбора соответствующего присадочного материала при незначительном подплавлении основы и низкого коэффициента перемешивания этих составляющих, что, в свою очередь, обуславливает высокую прочность их соединения и повышенную износостойкость. Также, достигается минимальное термическое влияние на основу металла, что особенно важно для материалов, претерпевающих структурные и фазовые превращения.

Параметры лазерной наплавки в основном аналогичны параметрам, которыми оперируют при лазерном термоупрочнении. Наиболее важной также является плотность мощности излучения, но более высокого уровня – от $4 \cdot 10^4$ до $1,5 \cdot 10^5$ Вт/см². Важной особенностью лазерной наплавки, в основном определяющей качество восстановленного слоя, является обеспечение требуемого уровня коэффициента перемешивания γ присадочного и основы металла [7]

$$\gamma = [S_0 / (S_n + S_0)] \cdot 100\% , \quad (2)$$

где S_0 – площадь проплавленного слоя основы материала в поперечном сечении одиночного наплавочного валика; S_n – площадь валика, наплавленного на основу металла.

Наилучшие прочностные и эксплуатационные свойства восстановленного слоя получены при $\gamma = 5...15\%$, используя в качестве присадочного материала саморасплавляющиеся порошки системы $Ni - Cr - B - Si$ определенного гранулометрического состава. Как показала практика, при наплавке значительных зон износа наиболее эффективно использование технологических лазеров на диоксиде углерода непрерывного режима излучения. Для восстановления локальных участков, соизмеримых с диаметром луча, например, зубьев шестерен, шлицевых и резьбовых соединений и т. п., наиболее целесообразно применение импульсных технологических лазеров.

VI. До настоящего времени процессы промышленного применения лазерной термообработки и восстановления рассматривались разобщенно и были направлены на решение отдельных задач ведомственного назначения. Происходящая сейчас на предприятиях отрасли интеграция и объединение авиастроительного и авиаремонтного профилей производства неизбежно определяют необходимость комплексного подхода к решению задач технологического характера. Справедливость этой концепции, становится очевидной на примере рассмотренных технологий:

- промышленное применение лазерного термоупрочнения и восстановления направлены на решение одной общей задачи – повышение надежности и работоспособности авиатехники, как вновь изготовленной, так и отремонтированной;

- тот и иной процессы обработки характеризуются высокой степенью идентичности технологий обработки и используемого лазерного оборудования;

- параметры обработки находятся примерно на одном уровне в пределах регламентации существующих технических условий (см. рис. 3).

В силу изложенного становится возможным, технически и экономически оправданным создание в условиях одного предприятия единого универсального

комплекса (участка, цеха) лазерной обработки материалов. Создание такого комплекса, кроме рассмотренных выше технологических приемов, может обеспечить реализацию и других перспективных лазерных технологических процессов, таких, как резка, сварка, легирование и т. п. Данные процессы также хорошо изучены и имеют реальную перспективу промышленного использования.

Таким образом, расширение сферы деятельности современного авиационного предприятия при минимальных затратах, несомненно, является экономически и технически оправданной задачей. Справедливость и целесообразность данной концепции иллюстрируется анализом условных кривых износа (работоспособности) на примере термоупрочненных и восстановленных с использованием лазерных технологий изделий. Приняв линейную зависимость износа от времени эксплуатации до очередного капитального ремонта, условные кривые строились с учетом результатов стендовых и лабораторных испытаний ряда деталей и материалов на износостойкость (рис. 3).

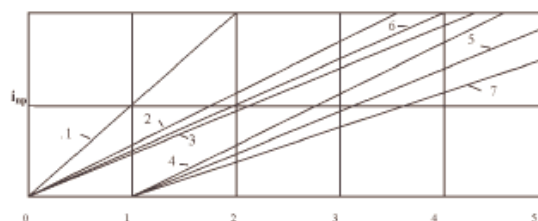


Рис. 3. Зависимость износа до восстановительного ремонта.

По вертикальной оси – степень износа (%), по горизонтальной оси – время и номера восстановительных ремонтов. $i_{пр}$ – предельная степень износа. Кривые износа детали: 1 В исходном состоянии (не обработана). 2 Термоупрочнена излучением лазера. 3 Наплавлена износостойким присадочным материалом. 4 Термоупрочнена после первого капремонта. 5 Восстановлена износостойким присадочным материалом. 6 Термоупрочнена при взаимном термоупрочнении сопрягаемой детали. 7 Восстановлена при термоупрочнении сопрягаемой детали.

Предположим, что кривая износа 1 для детали, не подвергнутой лазерной обработке, предусматривает необходимость восстановительного ремонта или замены ее на новую при первом капитальном ремонте изделия, т. к. величины предельного износа она достигает в межремонтный (между первым и вторым капитальным ремонтом изделия) период эксплуатации. Если осуществить лазерное термоупрочнение этой детали (кривая 2) при ее монтаже на изделие, то необходимость ремонта может возникнуть только при втором или

третьем, а иногда и более позднем капитальном ремонте изделия, учитывая, что износостойкость некоторых материалов может повышаться до 10 раз. При лазерной наплавке износоустойчивого слоя на поверхность этой детали (кривая 3), при прочих равных условиях, вероятность необходимости ее восстановления еще более снизится либо необходимость замены или восстановления сместится в сторону увеличения номера капремонта. Подобные виды обработки можно реализовать при одном из капитальных ремонтов (кривые 4, 5), что значительно увеличит ресурс и с достаточно большой вероятностью позволит исключить необходимость ее восстановления или замены.

Как следует из анализа кривых износа, термообработку и/или наплавку износостойкого слоя целесообразно осуществлять на более ранних стадиях срока эксплуатации. При этом объем восстановительных работ при одновременном повышении работоспособности в процессе всего срока эксплуатации изделия может быть значительно снижен. Более того, учитывая стабильное повышение характеристик износостойкости большинства материалов при оптимальных режимах обработки, возможно достижение условий, обеспечивающих полный отказ от необходимости восстановительного ремонта или замены элементов конструкции до полной выработки ресурса изделия в целом.

Результаты последних исследований, определяющих влияние взаимной обработки сопрягаемых пар трения, позволили выявить дополнительное повышение характеристик износостойкости обоих элементов сопряжения как при термоупрочнении (кривая б), так и при восстановлении лазерной наплавкой (кривая 7). Такая комбинация лазерной обработки поверхностей для большинства испытанных сопрягаемых пар трения является наиболее предпочтительной.

VII. Таким образом, кроме снижения трудовых и материальных ресурсов на восстановительные работы, предлагаемые виды лазерной обработки способны повысить работоспособность узлов и изделия в целом при одновременном увеличении уровня надежности и эксплуатационной безопасности. Одновременно с этим подтверждаются актуальность и эффективность концепции комплексного использования перспективных лазерных технологических процессов в современных условиях отечественного авиастроения в сочетании с ремонтно-восстановительным профилем производства.

Для прогнозирования ресурса деталей, подверженных износу, т. е. время t , через которое необходимо производить их замену или восстановление, зная интенсивность износа, можно воспользоваться зависимостью [8]

$$T = \frac{(h_n - h_{\min})}{k(h_{n-1} - h_n)}, \quad (3)$$

где h_{n-1} и h_n – размеры детали в зоне износа в начале и в конце межремонтного периода; h_{\min} – минимально допустимый размер детали; T – фактическая величина межремонтного периода (количество часов налета, взлетов-посадок); k – коэффициент, учитывающий возможность увеличения ресурса за счет лазерного термоупрочнения или восстановления.

Данный коэффициент зависит от угла наклона кривой изнашивания, который может быть определен экспериментально, на основе лабораторных или стендовых

испытаний износостойчивости тех или иных материалов, максимально приближенных к реальным условиям их работы, а также используя статистические данные.

Наряду с увеличением долговечности и повышением работоспособности рассматриваемых объектов обработки, при многопрофильном использовании лазерных технологий следует ожидать заметного повышения уровня надежности и безотказности производимой (ремонтимой) авиатехники.

Литература

1. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М.: Высшая школа, 1998. 160 с.
2. Андрияхин В. М. Процессы лазерной сварки и термообработки. М.: Наука, 2002. 176 с.
3. Рэди Дж. Промышленные применения лазеров : пер. с англ. М.: Мир, 2001. 638 с.
4. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Какора А. Н. Лазерная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1975. 296 с.
5. Черноиванов В. И., Архипов В. Е., Биргер Е. М. Некоторые результаты разработки и внедрения лазерной технологии в промышленности // Материалы совещания «Лазерные технологические установки и перспективы их применения на предприятиях отрасли». М.: 2007. 83 с.
6. Шестоперова Н. Г., Смышляев А. Р. Целесообразность и экономическая эффективность освоения технологических процессов восстановления деталей // Инженерные методы обеспечения безопасности полетов при эксплуатации и ремонте авиационной техники ГА : сб. ст. М.: МИИ ГА. 2007. 172 с.
7. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1999. 304 с.
8. Соломонов П. А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов Соломонов. М.: Транспорт, 1999. 272 с.

УДК 621.923

С.М. Кудряшов, А.С. Янюшкин*, В.Ю. Попов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАССОЛОВ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

Рассмотрены проблемы применения агрессивных, химически активных технологических сред. Предложены новые подходы к разработке технологических сред для операций механической обработки, в том числе электроалмазного илифования путем замены их на нейтральные рассолы Иркутской области.

Ключевые слова: механическая обработка, СОЖ, замена, минеральные рассолы, методика, устранения засаливания, рациональные режимы.

Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), подавляющее большинство которых составляют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), являются неотъемлемым элементом технологических процессов современных металлооб-

рабатывающих производств. Многие технологические процессы обработки деталей резанием вообще невозможны без применения СОТС. В связи с этим объем потребления СОТС неуклонно возрастает из года в год. Правильный выбор состава,

* – автор, с которым следует вести переписку