

УДК 621.7.04

## РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ ТИТАНОВЫХ ЗАГОТОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ «ХОЛОДНЫХ ЛАМП» СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ПОКРЫТИЕМ

© 2014 Н.В. Кабанов, А.А. Лапышёв, Е.А. Таирова, А.А. Федоров

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 03.11.2014

Авторами была освещена проблема обработки давлением титановых заготовок. Предложен способ совершенствования штамповки титановых заготовок, а также рассмотрена технология радиационного нагрева.

Ключевые слова: *радиационный нагрев, инфракрасное излучение, титан, штамповая оснастка*

Современная наука и техника характеризуется бурным развитием новых способов производства, созданием нового технологического оборудования при обработке металлов. Металлы и сплавы перед обработкой давлением нагревают до определенной температуры для повышения их пластичности и уменьшения сопротивления деформации. Нагрев заготовок позволяет производить обработку при меньших усилиях и с большими степенями деформации. Существуют различные методы нагрева металла, которые осуществляются главным образом либо подводом тепла извне – в нагревательных печах, либо путём генерации тепла непосредственно в металле при пропускании через него электрического тока или возбуждения в нём тока индукцией. Однако для титана, который в последние годы получил все большее распространение в технике, не все методы нагрева подходят. Это объясняется высокими температурами, в интервале которых они обладают удовлетворительной пластичностью (700-1100°С) и плохой теплопроводностью.

Технологические свойства титана, как и свойства механические, определяются степенью чистоты металла и, прежде всего, содержанием в нем кислорода, водорода, углерода. На воздухе при нормальной температуре +20°С титан устойчив, при температуре 320°С титан абсорбирует водород. До температуры 600°С поверхностная пленка окисла металла защищает его от окисления, поэтому можно на короткое время нагревать титан до 750°С. Значительного

окисления при этом не будет. При нагреве до температуры 882°С начинается процесс заметного проникновения кислорода вглубь металла. Так, при температуре 926°С в течение 1 часа кислород проникает в металл на глубину 0,26 мм, а при температуре 1040°С на глубину 1,25 мм [1]. Из-за невысокой теплопроводности титана при нагреве в заготовке образуется перепад температур, который может быть причиной увеличения неравномерности истечения металла. Поэтому предпочтительно прессовать титан при более низких температурах нагрева заготовок, однако понижение температуры нагрева заготовок сопровождается ростом сопротивления деформации.

Совершенствование методов и технологии нагрева титановых заготовок является актуальной проблемой. Решением поставленной цели является радиационный нагрев титановых заготовок инфракрасным излучением с применением «холодных ламп» со специальным покрытием.

Инфракрасное излучение – это передача энергии при помощи электромагнитных волн. Спектр этого излучения находится за пределами света, видимого человеческим глазом (рис. 1), в диапазоне длин волн от 0,7 мкм до 80 мкм.

Диапазон	Длина волны
Микроволновый	100 мкм
Инфракрасное излучение	10 мкм
Свет	1 мкм
Ультрафиолетовое излучение	0,1 мкм

**Рис. 1.** Диапазоны длин волн

*Кабанов Николай Владимирович, аспирант  
Лапышёв Алексей Александрович, аспирант  
Таирова Екатерина Александровна, аспирантка  
Федоров Александр Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Самолетостроение». E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru.*

Радиационный нагрев имеет ряд положительных особенностей по сравнению с другими способами нагрева:

1. Возможность получения высоких скоростей нагрева, вплоть до  $1000^{\circ}/\text{мин.}$ , что не только повышает производительность процесса нагрева, но и позволяет уменьшить толщину газонасыщенного слоя на поверхности титановых заготовок.

2. Возможность получения разных температур нагрева в различных участках заготовки, что создает благоприятное распределение деформаций.

3. Отсутствие необходимости разогрева установок перед началом эксплуатации.

4. Универсальность установок, позволяющая использовать их для нагрева различных материалов в широком диапазоне температур.

5. Компактность и мобильность установок, позволяющая быстро переналаживать производство.

Принцип действия нагревателя с инфракрасными излучателями основан на преобразовании лучистой энергии в тепловую внутри материала заготовки, помещенной в зону действия излучателей. Этот процесс состоит в следующем. Энергия тепловых (инфракрасных) лучей, испускаемых излучателями, воздействует на молекулы материала заготовки, увеличивая энергию их собственных колебаний – это и есть превращение лучистой энергии в тепловую, которое выражается в повышении температуры (в разогреве) заготовки. Применение в качестве источников радиационной энергии специальных кварцевых ламп имеет недостатки, а именно:

1. Невозможность работы в положении, отличном от горизонтального более, чем на  $18^{\circ}$ .

2. Цоколи ламп выдерживают температуру не выше  $350^{\circ}\text{C}$ , поэтому в высокотемпературных установках должно быть предусмотрено их охлаждение.

«Холодные лампы» со специальным покрытием лишены таких недостатков. Излучатели основаны на применении несущей трубы из спекшегося глинозёма для нагревательной спирали, которая, в свою очередь, прочно заделана в специальное керамическое покрытие и может,

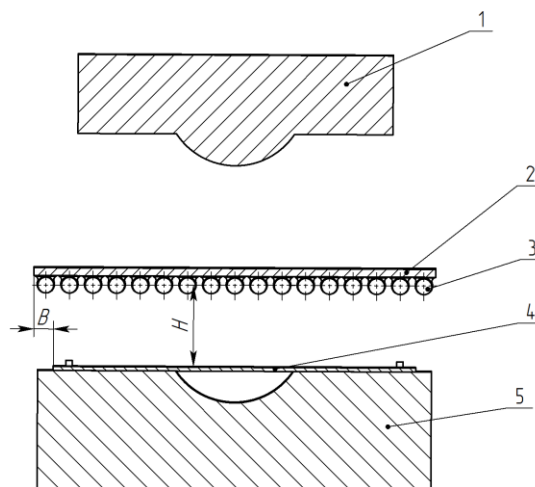
поэтому работать в любом положении. Лампы достигают своей стандартной рабочей температуры в  $1000^{\circ}\text{C}$  менее, чем за минуту. Кроме того, не требуют специальной системы охлаждения.

При радиационном нагреве титановых заготовок с применением «холодных ламп» со специальным покрытием на качество работ и равномерного нагрева заготовки влияют такие факторы как:

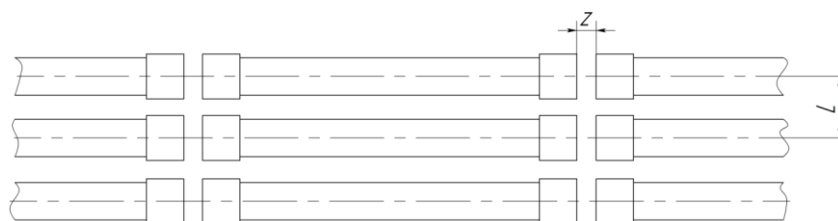
1. Площадь нагревательной панели (экрана). Площадь нагревательной панели должна выбираться таким образом, чтобы её габаритные размеры превышали максимальные габаритные размеры заготовки, обеспечивая величину  $B$  (рис. 2).

2. Высота расположения осей излучателей над поверхностью заготовки. Для обеспечения равномерного нагрева заготовки следует выдерживать высоту  $H$  расположения осей излучателей над поверхностью заготовки (рис. 2).

3. Зазор между торцами излучателей. Для радиационных установок характерно рядное расположение излучателей (рис. 3). Зазор ( $z$ ) между торцами излучателей нужно установить минимально возможным, чтобы уменьшить неравномерность нагрева вдоль оси излучателей.



**Рис. 2.** Установка радиационного нагрева: 1 – пуансон; 2 – нагревательная панель; 3 – излучатели; 4 – заготовка; 5 – матрица



**Рис. 3.** Расположение излучателей

4. Расстоянием между осями излучателей (ламп). Расстоянием ( $L$ ) между осями излучателей (рис. 3) можно варьировать в широких пределах без опасения значительно ухудшить равномерность нагрева. С уменьшением расстояния  $L$  увеличивается максимальная температура, которую можно получить в установке, сокращая время нагрева до заданной температуры, повышая к.п.д. и снижая себестоимость нагрева.

5. Число излучателей. Уменьшение расстояния  $L$  приводит к увеличению числа излучателей в установке, следовательно, к увеличению ее мощности и стоимости.

6. Угол между осью заготовки и излучателями. Возможен вариант установки (рис. 4), в которой угол между осью заготовки и излучателями отличен от  $90^\circ$  ( $\varphi \neq 90$ ). Величина  $\varphi$  может влиять на равномерность нагрева заготовки и определяется опытным путем.

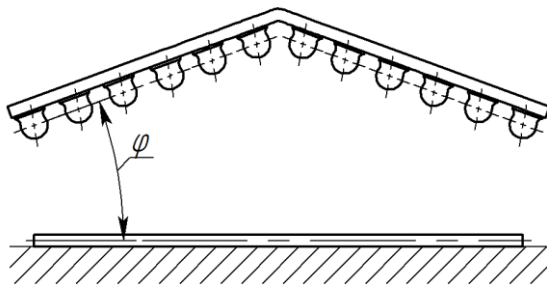


Рис. 4. Установка радиационного нагрева с расположением излучателей под углом

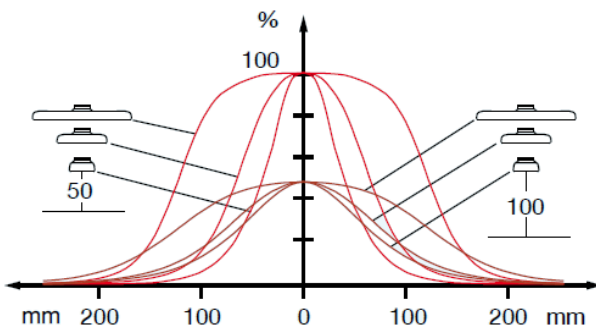


Рис. 5. Пространственное распределение излучения: расположение по центру

На рис. 5 представлены распределения излучения для двух вариантов расположения нагревателей. Интенсивность определяется соответствующей температурой поверхности. У установок с большим числом нагревателей распределения излучения перекрываются. Если, например, несколько нагревателей с одинаковой выходной мощностью смонтированы рядом друг с другом внутри одной установки (рис. 6), в средней части нагреваемого материала

мощность нарастает, что крайне нежелательно, так как не будет равномерного нагрева материала по всей площади от краев до середины. Для того, чтобы плотность энергии на нагреваемом материале была однородной, нагреватели, расположенные по краю, должны работать на большей мощности или при более высокой температуре, чем нагреватели в середине (рис. 7).

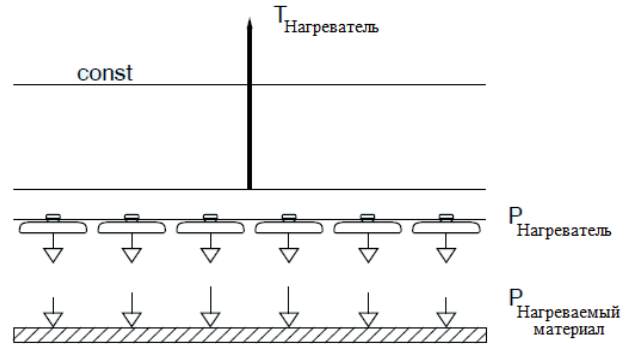


Рис. 6. Энергия на материале, нагреваемом нагревателем с постоянной мощностью

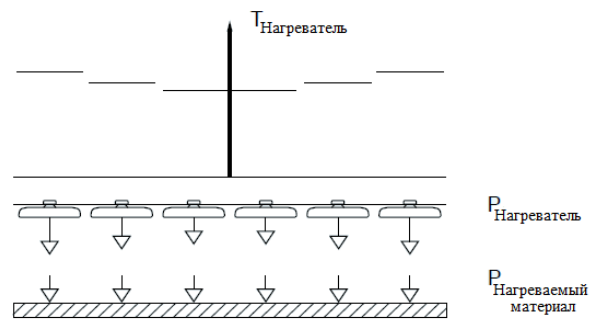


Рис. 7. Энергия на материале, нагреваемом нагревателем с регулируемой мощностью

Малые габариты инфракрасных нагревателей позволяют изменять распределение излучений на нагреваемом материале. Поскольку энергия излучения, возникающая в какой-либо точке – это суммарная энергия всех нагревателей, создание особо интенсивного или слабого излучения на малом участке иногда бывает непростой задачей. В таких случаях можно добиться существенных улучшений при помощи блестящих отражающих пластин или шторок. На рис. 8 и рис. 9 представлены возможные варианты конструктивных решений.

Также необходимо учитывать характер работы штампа (его нагрев и охлаждение осуществляются циклически). К основным температурным факторам, влияющим на работоспособность штампа, относятся:

- уровень температуры поверхности штампа;
- колебания температуры поверхности штампа;
- распределение температуры по глубине штампа.

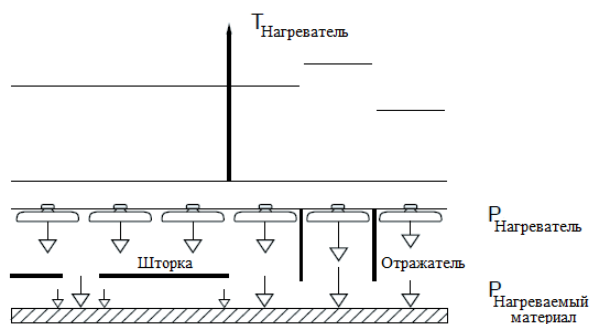


Рис. 8. Регулировка мощности при помощи отражателя и шторы

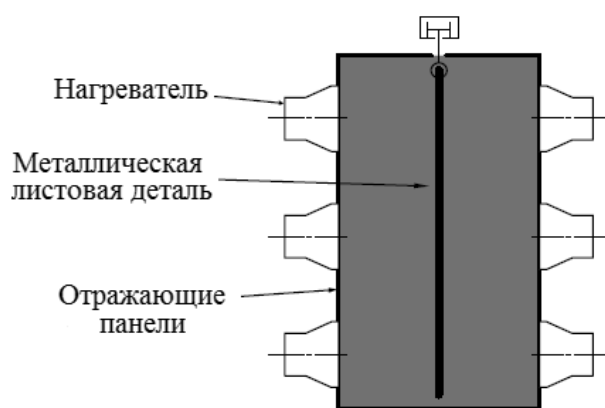


Рис. 9. Схема установки с несколькими нагревателями

Колебания температуры поверхности штампа представляют большую опасность в связи с возникающими при этом температурными напряжениями и деформациями, приводящими к возникновению трещин на поверхности штампа. Для уменьшения амплитуды колебаний температуры и тепловых потоков, поступающих в штамп из заготовки, штамп перед началом работы предварительно нагревают до температуры 200–250°C.

**Выводы:** совершенствование методов и технологии штамповки, в том числе и улучшение метода радиационного нагрева заготовок из титановых сплавов, является актуальной проблемой, как в авиационной, так и в других отраслях промышленности, и требует более детального исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чернецов, В.И. Справочные материалы по титану. – Судпромгиз, 1956. 243 с.
2. Гусев, В.Э. Лазерная оптоакустика / В.Э. Гусев, А.А. Карабутов. – М.: Наука, 1991. 304 с.
3. Полежаев, Ю.В. Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее: В 3 т. Т. 3. Экспериментальные исследования / Ю.В. Полежаев, С.В. Резник, А.Н. Баранов и др.; Под ред. Ю.В. Полежаева и С.В. Резника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 264 с.

## RADIATION HEATING TITANIUM PREPARATION USING «COLD LAMP» WITH A SPECIAL COATING

© 2014 N.V. Kabanov, A.A. Lapyshchev, E.A. Tairova, A.A. Fedorov

Ulyanovsk State Technical University

The authors have highlighted the issue of forming titanium billets. Provides a method of improving titanium stamping blanks, as well as the technology of radiation heating.

Key words: *radiant heating, infrared radiation, titanium, stamp equipment*

Nikolay Kabanov, Post-graduate Student  
 Aleksey Lapyshchev, Post-graduate Student  
 Ekaterina Tairova, Post-graduate Student  
 Alexander Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Aircraft Manufacturing Department. E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru.