

УДК 62-112.85

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

©Резниченко Н. К.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про автора:**

**Резниченко Микола Кирилович:** ORCID: 0000-0002-6989-0270; rezlynik@ukr.net; доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна

В статье показано, что сборка-разборка с использованием прессового оборудования энергоемкая, может вызвать повреждение деталей соединения.

Технологии использующие нагрев имеют преимущества перед другими технологиями и позволяют значительно повысить прочность соединения без повышения требований к точности механической обработки.

Показано, что энергосбережение зависит от вида используемой энергии и ее приложения к нагреваемой детали.

В статье определено, что в настоящее время одним из энергосберегающих является индукционный нагрев.

Использование индукционно-теплого метода нагрева позволяет исключить дорогостоящее оборудование, обеспечить высокую прочность изделия, а создание рациональной формы деталей позволит снизить энергоемкость, обеспечив экологическую чистоту технологического процесса.

**Ключевые слова:** электронагрев; индукционный нагрев; технологичность; сборка; разборка; конструкция; энергосбережение; теплоемкость; удельный вес.

**Резниченко М. К.** «Енергоефективність технологічних процесів пресових з'єднань».

У статті показано, що складання-розбирання з використанням пресового обладнання енергоємна, може викликати пошкодження деталей з'єднання.

Технології використовують нагрівання мають переваги перед іншими технологіями і дозволяють значно підвищити міцність з'єднання без підвищення вимог до точності механічної обробки.

Показано, що енергозбереження залежить від виду використовуваної енергії і її додатку до нагріваємої деталі.

У статті визначено, що в даний час одним з енергосберегаючих є індукційний нагрів.

Використання індукционно-теплого методу нагріву дозволяє виключити дороге устаткування, забезпечити високу міцність виробу, а створення раціональної форми деталей дозволить знизити енергоємність, забезпечивши екологічну чистоту технологічного процесу.

**Ключові слова:** електронагрів; індукційний нагрів; технологічність; збірка; розбирання; конструкція; енергозбереження; теплоємність; питома вага.

**Reznichenko N.** “Energy efficiency of technological processes of press compounds”.

The article shows that assembly-disassembly using press equipment is energy-intensive, can cause damage to the connection details.

Technologies using heating have advantages over other technologies and can significantly improve the strength of the connection without increasing the requirements for precision machining.

It is shown that energy saving depends on the type of energy used and its application to the heated part.

In the article it is determined that at present one of the energy-saving is induction heating.

The use of the induction-thermal method of heating allows to exclude expensive equipment, to ensure high strength of the product, and the creation of a rational shape of the parts will allow reducing the energy intensity, ensuring the ecological purity of the technological process.

**Key words:** electric heating; induction heating; technology; assembly; disassembly; design; energy saving; heat capacity; specific gravity.

## **1. Введение**

При сборке-разборке соединений с натягом механическим способом, в том числе и гидропрессовым, соединение-разъединение деталей происходит осевым перемещением под действием значительной силы, которая изменяется от максимума до нуля в момент окончания процесса. Микронеровности на посадочных поверхностях при этом частично сминаются и срезаются. При этом возможно деформирование, по меньшей мере, одной из деталей.

Наиболее эффективным является электронагрев. Технологии, использующие электронагрев широко распространены в промышленности, особенно в машиностроительных отраслях, поскольку имеют такие важные преимущества перед технологиями использующими другие виды нагрева, как хорошая управляемость, экологическая чистота, компактность оборудования. Учитывая сложное положение с энергоресурсами процесс сборки и разборки прессовых соединений должны быть энергосберегающими. Возможность энергосбережения во многом зависит от вида используемой энергии.

Одним из энергоэкономичных является индукционный нагрев – это низкотемпературный (до 400 °С) нагрев – для сборки и разборки соединений который нашел свое применение сравнительно недавно – с 70 годов прошлого столетия.

## **2. Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Самыми ранними исследованиями сборки соединений с натягом с использованием нагрева, следует, по-видимому, считать работы А. Гадолина, который в 60-х годах 19 века создал теорию скрепления стволов артиллерийских орудий.

В работах Б. Ф. Федорова, Жабина Л. И., Андреева Г. Я. приводятся некоторые данные по технологии сборки с термовоздействием крупногабаритных соединений, а в монографии М.П. Новикова изложены технологические рекомендации, выработанные на основании опыта.

Несмотря на очевидные преимущества сборка с нагревом не находит должного применения в машиностроении.

## **Технологія машинобудування**

---

Вопросы энергопотребления при сборке с нагревом практически не рассматривались.

Таким образом, в настоящее время имеется объективно возникшая научно-техническая проблема повышения производительности и качества сборки и разборки соединений с натягом, при одновременном снижении энергозатрат с применением высоко надежного индукционно-нагревательного оборудования, пригодного к использованию на различных производствах и в различных условиях.

### **3. Цель и задачи исследования**

В задачу исследований входит изучить влияния конструкции нагреваемой детали на эффективность индукционного нагрева с целью возможности экономии энергии при нагреве ступенчатых осесимметричных деталей с учетом возникающих напряжений.

### **4. Изложение основного материала исследования**

Требования к технологичности конструкции изделий, в том числе и общие положения по технологичности предъявляемые сборкой и разборкой, включают требования назначения стандартных посадок, удобства манипулирования и базирования деталей. На основании анализа имеющихся общих требований к технологичности различных сборочных единиц, можно сформулировать некоторые требования к технологичности конструкции сборочной единицы, связанные с использованием нагрева.

Требования к составу:

- сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегатирования;
- сборка или разборка изделия не должна обуславливать применения сложного технологического оснащения;
- конструкция и ее месторасположение в изделии должна соответствовать требованиям механизации и автоматизации;
- конструкция сборочной единицы должна предусматривать базовую составную часть, которая является основной для расположения остальных составных частей; базовая составная часть должна быть удобной для правильной установки на рабочем месте в стапеле, приспособлении, на рабочем столе, сборочной площадке и пр;
- компоновка сборочной единицы должна позволять производить сборку или разборку при неизменном базировании составных частей, обеспечивать удобный доступ к местам, требующим контроля, регулировки и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к использованию по назначению, техническому обслуживанию и ремонту;
- компоновка сборочной единицы и способы соединения должны обеспечивать легкосъемность составных частей с малым ресурсом (материальным и энергетическим).

К известным требованиям к конструкции составных частей – деталей, связанным с их обработкой, контролем качества и др., для технологий, использующих индукционный нагрев, следует добавить требование минимального расхода энергии.

Расход энергии при технологиях использующих нагрев достаточно высок. При индукционном нагреве он может быть существенно снижен поскольку возможно производить локальный нагрев. Рассмотрим, как может уменьшаться расход тепловой энергии в зависимости от технологичности конструкции детали по показателю энергосбережения.

Как известно, при локальном нагреве части детали в материале в следствие градиента температур возникают температурные напряжения. Определим затраты тепловой энергии в зависимости от размерных соотношений и конфигурации нагреваемых детали которые необходимы для компенсации натяга.

При этом наружный диаметр кольца  $D$  определяется как  $1,5d$ . Кольца являются аналогами ступиц ступенчатых деталей.

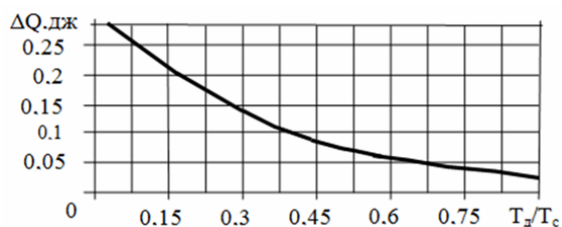
Анализируя нагрев деталей типа кольцо, видно, при увеличении размеров детали необходимая температура уменьшается, а потребное количество энергии все равно растет.

Для анализа влияния соотношений геометрических характеристик детали типа ступица с диском и неравномерности ее нагрева по радиусу, были выполнены расчеты для одного и того же расширения посадочного отверстия детали.

Анализ показал, что:

- максимально экономится энергия при  $h/l = 0,3 \div 0,2$ , причем эта величина медленно уменьшается с уменьшением разности температур между ступицей и диском;
- затраты энергии существенно зависят от отношения  $c/b$ , уменьшаясь от величины 0,95 до 0,65 (при практически реализуемых значениях  $b/a$  от 1,3 до 2,0);
- отношение  $b/a$  влияет на затраты энергии незначительно. Тем не менее, максимальная экономия энергии достигается при  $b/a = 1,5$  – наиболее широко используемой геометрии детали в применяемых конструкциях. При меньших значениях  $b/a$  затраты энергии несколько возрастают, а при больших значениях практически не изменяется;
- экономия энергии, в зависимости от отношения температур ступицы и диска, для деталей характеризуемых значениями  $b/a$  и  $c/b = 1,8$ , изменяется в пределах от 2 % до 27 %.

График (рис. 1) иллюстрирует сделанные выводы. Геометрические соотношения деталей здесь были следующими:  $b/a = 1,5$ ;  $c/b = 1,8$ ;  $h/l = 0,3$ . Температуры ступицы и диска брались как средние.



**Рис. 1** – Изменения величины экономии тепловой энергии  $\Delta Q$  при различных отношениях температур нагрева диска  $T_d$  и ступицы  $T_c$

Очевидно, что полученные величины значения  $\Delta Q$  для деталей с другими геометрическими характеристиками будут отличаться от приведенных на графике, однако характер изменения не изменяется.

Поскольку создание ступенчатого распределения температур между ступицей и диском невозможно, полученные количественные оценки экономии энергии являются приблизительными, дающими

## Технологія машинобудування

---

возможность оценить рациональность использования локального нагрева при технологиях сборки и разборки соединений. Соответственно и возникающие при равномерном нагреве элементов охватывающей детали напряжения, так же будут оценочными. Для более точной и определенной оценки энергетических возможностей при неравномерном нагреве деталей сложной формы необходимо исследовать температурные поля во взаимосвязи с соответствующими им полями механических напряжений. Это позволит разработать рекомендации по наилучшему размещению источников нагрева относительно детали и, значит проектированию оптимальных индукционных нагревателей.

### Выводы

Для типовых конструкций соединений со стандартными посадками с натягом необходимая для их сборки или разборки тепловая энергия нагрева с увеличением размеров увеличивается, а температура – уменьшается.

Выявлены закономерности и дана количественная характеристика влияния локального нагрева осесимметричной сложнопрофильной конструкции «ступица с диском и ободом» на возникающие в материале напряжения, и качественная характеристика ее технологичности.

Определены границы возможной экономии энергии при нагреве типовой ступенчатой осесимметричной деталей «ступица с диском» в зависимости от геометрических соотношений ее элементов - до 25 %.

### Список использованных источников:

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 343 с.
2. Андреев А. Г. Напряженно-деформированное состояние составных осесимметричных конструкций, собираемых с натягом при использовании нагрева / А. Г. Андреев, Н. К. Резниченко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 47. – С. 3-8.
3. Андреев А. Г. Оптимизация нагрева при разборке деталей / А. Г. Андреев, Н. К. Резниченко, О. В. Щепкин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – № 32. – С. 3-8.
4. Арпентьев Б. М. Механизация и автоматизация сборочных работ на машиностроительных предприятиях / Б. М. Арпентьев, А. С. Зенкин, А. Н. Куцын. – Киев : Техніка, 1994. – 232 с.

### References

1. Mikheev, M & Mikheeva, I 1977, *Osnovy teploperedachi*, Energiya, Moskva.
2. Andreyev, A & Reznichenko, N 2005, 'Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye sostavnykh osesimmetrichnykh konstruksiy, sobirayemykh s natyagom pri ispolzovanii nagreva', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*, no. 47, pp. 3-8.
3. Andreyev, A, Reznichenko, N & Shchepkin, O 2006, 'Optimizatsiya nagreva pri razborke detaley', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*, no. 32, pp. 3-8.
4. Arpentyev, B, Zenkin, A, Kutsyn, A 1994, *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sborochnykh robot na mashinostroitelnykh predpriyatiyakh*, Tekhnika, Kyiv.

Стаття надійшла до редакції 27 квітня 2018 р.