

**III**  
**PROBLEMY MONTAŻU POŁĄCZEŃ WCISKANYCH**  
**ZE WSPOMAGANIEM TERMICZNYM**



**Ivan OBORSKI**

Uniwersytet Technologii i Projektowania  
Kijów, Ukraina

**ZAPEWNIENIE JAKOŚCI POŁĄCZEŃ WCISKANYCH Z PODGRZEWANIEM  
Z POWIERZCHNIAMI O REGULARNYM MIKRORELIEFIE**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ,  
ФОРМИРУЕМЫХ КТСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА  
В ЗОНЕ КОНТАКТА ДЕТАЛЕЙ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Одной из главных проблем машиностроения на современном этапе является повышение эксплуатационной надежности различных изделий, которая в значительной степени определяется прочностью соединений с натягом [1, 2]. Широкое применение для сборки таких соединений получили технологические способы формирования с использованием термических способов с нагреванием или охлаждением сопрягаемых деталей, с использованием относительно больших сборочных натягов и регулярного микрорельефа в зоне контакта. Однако, термическая сборка выполняется зачастую при достаточно высоких температурах нагревания или глубокого охлаждения сопрягаемых деталей, что делает ее достаточно энергоемким технологическим процессом и продолжительным по времени. Поэтому необходимо изыскание путей, обеспечивающих снижение энергозатрат, например, за счет применения регулярного микрорельефа, обеспечивающего повышенную прочность посадок и возможность снижения величины сборочного натяга, снижение уровней нагрева и охлаждения сопрягаемых деталей перед сборкой. Это позволит сократить продолжительность цикла сборки, тепловые потери, уменьшить время нагрева и охлаждения сопрягаемых деталей. Эти преимущества позволяют эффективно использовать этот технологический процесс в массовом производстве.

Одним из возможных путей повышения эффективности термической сборки является использование рационального направления подвода тепла и холода, а также выбора рациональных температур нагрева и охлаждения при неравномерном термовоздействии на сопрягаемые детали. К сожалению исследования в этой области носили ограниченный характер, что не позволило разработать научные подходы для решения проблемы и предложить рекомендации по рациональному выбору температуры нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей, величины сборочного натяга, параметров микрорельефа и его топологии на сопрягаемой поверхности охватываемой детали. В ряде специфичных случаев известные технологические решения не позволяют качественно собрать соединения с натягом и полностью реализовать их запас прочности. При этом изделия имеют повышенное напряженно-деформированное состояние, что снижает их эксплуатационную прочность.

Таким образом, решение этой проблемы требует применения новых подходов к обеспечению прочности соединений деталей с натягом и условий их реализации.

В связи с этим значительный научный и практический интерес представляет перспектива использования специальных видов регулярного микрорельефа в зоне контакта деталей для качественной сборки соединений с относительно большими натягами, одновременного и параллельно выполняемого пониженного нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей – комбинированного термического способа сборки (КТСС).

При этом повышается качество посадок, представляется возможность исключить ухудшение физико-механических свойств материалов, снизить величину сборочного натяга, напряженно-деформированное состояние деталей, тепловые, энергетические и временные потери. Также КТСС позволит увеличить термический сборочный зазор, что даст возможность упростить соединение деталей в процессе их ориентирования и взаимного совмещения, сохранить исходные параметры микрорельефа на сопрягаемых поверхностях, повысить плотность и площадь зоны контакта, а также прочность посадок с натягом.

Однако, для принятия решения об использовании прогрессивной технологии необходимо создать технологические основы обеспечения КТСС и научно обосновать при этом гипотезу о повышении качества соединений с натягом деталей из материалов с различными физико – механическими характеристиками и конструктивными параметрами, производительности процесса, снижении затрат времени и энергоносителей. При этом, для определения технологических возможностей реализации КТСС и режимов необходимо проведение комплексных исследований по выбору: рациональных параметров специфичной топологии регулярного микрорельефа на сопрягаемых поверхностях охлажденных охватываемых деталей и применением промежуточных прослоек. Это позволит увеличить номенклатуру изделий с высокими показателями качества, а также расширить применение средств автоматизации за счет использования достаточно простых по конструкции сборочных устройств.

Таким образом, решение проблемы повышения эксплуатационной надежности машиностроительной продукции за счет разработки и внедрения технологических основ обеспечения сборки ответственных соединений с натягом комбинированным термическим способом является актуальным для машиностроения. Ниже представлены отдельные аспекты проведенных исследований в этой области сборки. В качестве примера приводится разработанный автором графо-аналитический метод выбора рациональных параметров микрорельефа на сопрягаемой поверхности вала.

#### **ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРЕЛЬЕФА**

На основании выполненного комплекса исследований процессов сборки соединений с натягом термическими способами установлено, что при формировании зоны контакта таких посадок происходят специфичные процессы, связанные с внедрением микрорельефа сопрягаемой поверхности охлажденной охватываемой детали в тело нагретой охватывающей. При этом на характер происходящих процессов влияет комплекс взаимосвязанных технологических и конструктивных параметров: физико-механические свойства материалов сопрягаемых деталей и поверхностного слоя в зоне контакта; величина контактного давления; технология подготовки сопрягаемых поверхностей деталей; параметры микрорельефа (высота, возможная глубина его внедрения, углы профиля при вершине и наклона его сторон к оси соединения, вид его топологии – пирамидальный или кольцевой, площадь нанесения); величины температур начального контакта нагретой охватывающей детали и охлажденной до низких температур охватываемой.

В результате выполненных исследований разработаны конструкция и способы сборки соединений с натягом с регулярным равносторонним и треугольным упорным микрорельефом [2].

Установлено, что при заданных свойствах материалов сопрягаемых деталей, их конструктивных параметров, величины контактного давления необходимым условием является выбор совокупности параметров регулярного микрорельефа (высоты  $R_v$ , угла профиля при вершине  $\alpha$ , углов наклона его сторон к основанию  $\beta_y$  и  $\beta_n$ ). Следует отметить, что важным параметром является величина возможного внедрения микрорельефа, с учетом которого следует выбирать его оптимальную высоту. Для решения задачи повышения прочности и снижения трудоемкости подготовки производства инженерно-техническим составом автором предлагаются соответствующие расчетные зависимости и номограммы.

Необходимые значения технологических параметров, обеспечивающих прочность соединений с натягом, формируемых КТСС, представляется возможным рассчитать по разработанным аналитическим зависимостям [1, 2] или номограмме, состоящей с трех частей (рис. 1 - 3).

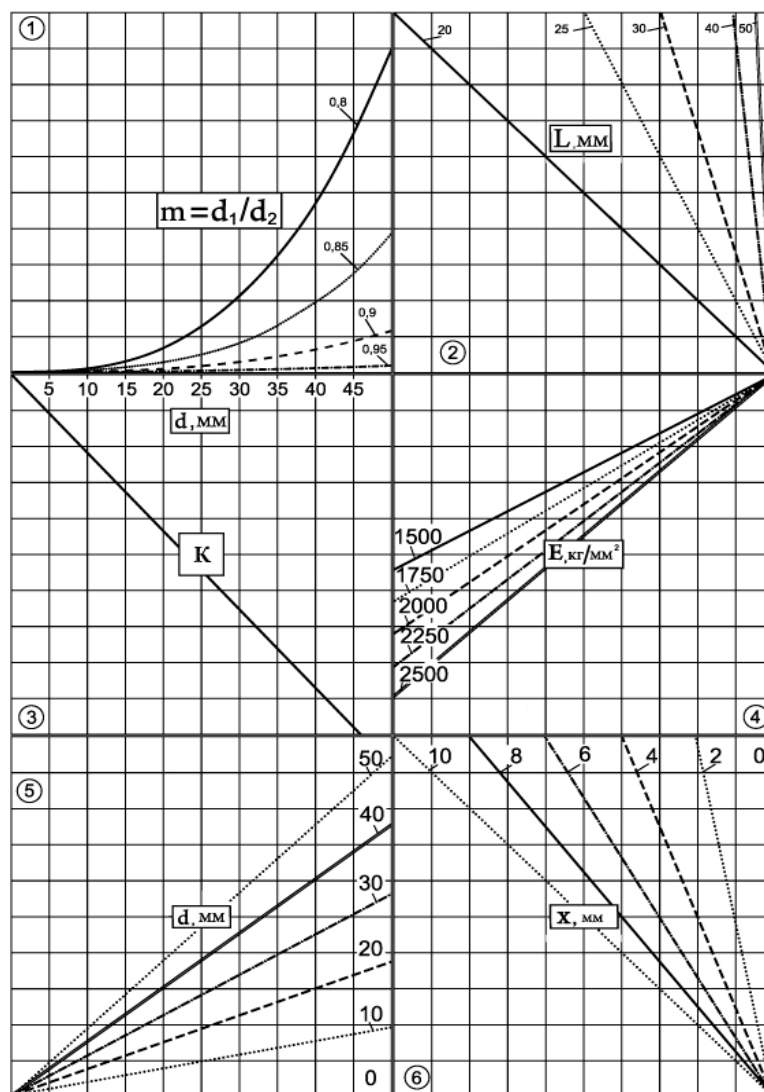


Рис. 1. Определение промежуточных параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 1. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmujących dla zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

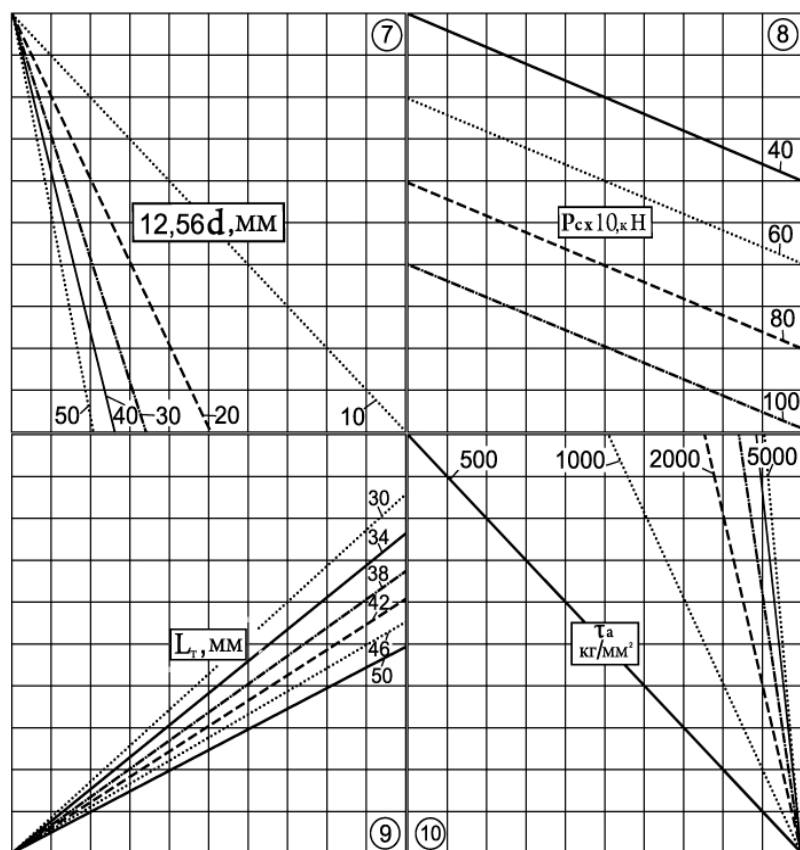


Рис. 2. Определение промежуточных параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 2. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmowanych celem zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

Зная конструктивные параметры соединения и деталей (диаметр посадки  $d$ , отношение наружного диаметра  $d_2$  охватывающей детали и внутреннего диаметра  $d_1$  охватываемой, длину посадки  $L$ , модуль упругости для материалов деталей, длину нанесения регулярного микрорельефа на поверхность охватываемой детали  $X$ , заданную прочность соединения  $P_c$ , напряжения среза  $T_a$  при сдвиге для материала охватывающей детали можно найти параметры регулярного микрорельефа (шаг нанесения  $S$ , угол при вершине и наклона стороны к его основанию, высоту  $R_v$ ). Решение задачи необходимо проводить по номограммам 1–3 в направлении от точки 1 (диаметр посадки  $d$ ) к точке 16 (высота микрорельефа  $R_v$ ).

Для расчета параметров, обеспечивающих прочность соединений с натягом, и выбора рациональной технологии их формирования разработан алгоритм и программа для персонального компьютера. Об эффективности применения методики неоднократно автор докладывал на международных конференциях [1 – 5].

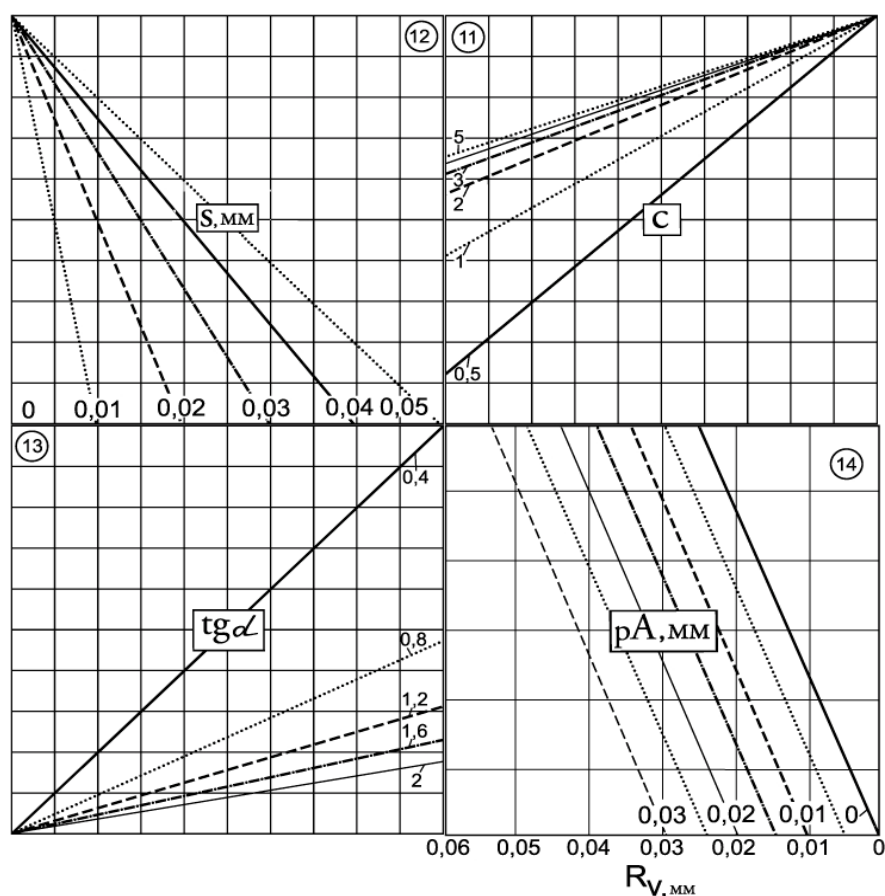


Рис. 3. Определение параметров технологии подготовки сопрягаемых поверхностей охватываемых деталей для обеспечения заданной повышенной прочности соединений с натягом при КТСС

Rys. 3. Wyznaczanie pośrednich parametrów technologii przygotowania powierzchni części obejmowanych celem zapewnienia wytrzymałości połączenia wciskanego z podgrzewaniem

### ВЫВОДЫ

Обоснована возможность повышения прочностных характеристик соединений с натягом и снижения напряженно-деформированного состояния за счет специфики временного формирования зоны контакта и изменения механических свойств материалов при КТСС, что позволило создать методологию определения оптимальных параметров регулярного микрорельефа и топологии его нанесения на сопрягаемые поверхности охватываемых деталей: использование микрорельефа обеспечивает увеличение фактической площади контакта и прочности соединений с натягом с учетом условий эксплуатационного их нагружения, что позволит уменьшить контактное давление и напряженное состояние; установлено, что высота микрорельефа на сопрягаемой поверхности

охватываемой детали для конструкционных углеродистых сталей должна быть не более 0,5N, а угол наклона стороны, воспринимающей рабочую нагрузку, равным арккотангенсу от коэффициента трения поверхности контакта его профиля с охватываемой деталью при заданных иных сборочных параметрах; топология микрорельефа на поверхности сопряжения тонкостенных деталей должна задаваться с учетом закона распределения контактного давления, обеспечивать возможность направленного формирования зоны контакта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оборський І.Л., Зенкін А.С., Шалай В.О. Розробка конструкції та технології збірки складеного колеса електровагона. //Techniczno - ekonomiczne uwarunkowania rozwoju przedsiębiorczości. Zbiór prac 11 Polsko – Ukrainskiej Konferencji Naukowej/ Pod redakcją Czesława Nizankowskiego. – Krakow, 2005. – S. 201 – 208.
2. Оборский И.Л., Шалай В.А., Зенкин А.С. Обеспечение качества соединений с натягом, формируемых термическими методами. "Качество, стандартизация, контроль: теория и практика." Сб.: Материалы 8-й международной научно-практической конференции, 23 – 26 сентября 2008 г., г. Ялта: – Киев: АТМ Украины, 2008. – С.101-105
3. Оборский И. Л. Технологические основы сборки соединений с натягом термическими способами с использованием регулярного микрорельефа в зоне контакта. – // "Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK'2009. – Rzeszow- Regietow (Польша). – С. 229 – 234.
4. Оборский И. Л., Зенкин А.С. Применение специальной топологии микрорельефа при сборке соединений с натягом термическими способами. – Збірник тез конференції "Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK'2009. –Rzeszow-Regietow (Польша). – С. 235 – 242.
5. Оборский И.Л. Выбор температуры термовоздействия на сопрягаемые детали для обеспечения качественной сборки соединений с натягом. "Качество, стандартизация, контроль: теория и практика." Сб.: Материалы 9-й международной научно-практической конференции, 21 – 25 сентября 2009 г., г. Ялта: – Киев: АТМ Украины, 2008. – С.101-105.

## QUALITY ASSURANCE OF FORCED-IN JOINTS WITH PREHEATING AND WITH IRREGULAR MICRO-RELIEF ON SURFACES

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono uogólnione wyniki badań technologii wykonywania połączeń wciskanych z podgrzewaną częścią obejmującą i z wykonanym na niej regularnym mikroreliefem oraz ze schłodzoną częścią obejmowaną. Wyniki przedstawiono w postaci uogólnionych nomogramów, umożliwiających dobór parametrów technologicznych w zależności od badanych, zmiennych parametrów procesu.



Ivan OBORSKI

Artiem OBORSKI

Anatolij ZENKIN

Uniwersytet Technologii i Projektowania

Kijów, Ukraina

## WYBÓR ENERGOOSZCZĘDNEJ TECHNOLOGII MONTAŻU POŁĄCZEŃ WCISKANYCH Z PODGRZEWANIEM

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЙ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных научно-технических проблем технологии машиностроения является создание соединений с натягом с повышенными эксплуатационными показателями и с минимальными энергозатратами. Успешное решение задачи энергосбережения требует учета множества входных факторов, взаимосвязанных во времени и пространстве. К основным факторам можно отнести механические и теплофизические свойства материалов сопрягаемых деталей, их конструктивные размеры и геометрию формы, технологические условия термовоздействия на детали, заданное значение временного сборочного зазора для реализации технологии. В частности, при сборке соединений с натягом КТСС, то есть с использованием нагрева и низкотемпературного охлаждения сопрягаемых деталей, необходимо определить рациональные температуры, их перепад между сопрягаемыми деталями, величину необходимого временно образованного зазора при взаимном соединении деталей. Использование такого подхода к выбору методологии определения сборочных параметров позволит производителям при минимальных затратах создавать современные изделия с соединениями с натягом.

### НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ГАРАНТИРОВАННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ ПРИ НАЛИЧИИ ВРЕМЕННОГО СБОРОЧНОГО ЗАЗОРА

В процессе выполнения операций сборки соединений с натягом происходят потери тепла нагретой охватывающей деталью и холода охлажденной охватываемой деталью. В результате будут происходить изменения диаметра посадки  $d$  сопрягаемых деталей от воздействия температуры окружающей среды за время  $\tau_i$  при выполнении  $i$  – й операции сборочного процесса (при транспортировании  $\Delta d_{тр}$  деталей, их ориентировании  $\Delta d_{ор}$  и взаимном соединении  $\Delta d_y$  с временным зазором, соответственно). Для качественной реализации технологии сборки необходимо обеспечить расчетное значение временного сборочного зазора  $S_{сб}$ . С учетом этих явлений тепловых потерь зазор  $S_{сб}$  должен быть большим на величину  $\Delta d_{сб}$ , учитывающую потери в течение времени сборки, то есть он должен определяться

$$S_{сб} = S_{мин} + \Delta d_{сб} = \Delta d_a + \Delta d_b = S_{мин} + \Delta d_{тра} + \Delta d_{ора} + \Delta d_{ya} + \Delta d_{трв} + \Delta d_{орв} + \Delta d_{ув}, \quad (1)$$

где  $\Delta d_a = \Delta d_{\text{тра}} + \Delta d_{\text{ора}} + \Delta d_{\text{уа}}$ ;  $\Delta d_b = \Delta d_{\text{трв}} + \Delta d_{\text{орв}} + \Delta d_{\text{ув}}$ ;  $\Delta d_{\text{тра}}$ ,  $\Delta d_{\text{ора}}$ ,  $\Delta d_{\text{уа}}$  и  $\Delta d_{\text{трв}}$ ,  $\Delta d_{\text{орв}}$ ,  $\Delta d_{\text{ув}}$  – изменения диаметра посадки  $d$  сопрягаемых деталей (охватывающей и соответственно охватываемой) от воздействия температуры окружающей среды за время  $\tau$  транспортирования деталей, их ориентирования и взаимного совмещения (соединения с временным зазором); эти величины могут быть определены косвенно по изменению температуры деталей на промежуточных операциях цикла сборки.

С учетом (1) суммарная величина  $\Delta d_{\Sigma}$ , включающая расширение отверстия охватывающей втулки при нагреве  $\Delta d_a$  и сжатие вала при охлаждении  $\Delta d_b$  будет определяться

$$\Delta d_{\Sigma} = \Delta d_a + \Delta d_b = S_{\text{сб}} + N_{\text{макс}} = S_{\text{сб}} + N_{\text{расч}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{расч}}$  – максимальное значение расчетного натяга.

Величина термического зазора  $S_{\text{сб}}$  при КТСС и наибольший натяг  $N_{\text{макс}}$  определяют величину температуры охватывающей и охватываемой деталей как в начальный момент их начала транспортирования на позицию окончательной сборки ( $T_{\text{нагр}}$  и  $T_{\text{охл}}$  соответственно), так и к моменту их начального совмещения деталей ( $T_{\text{ау}}$  и  $T_{\text{бу}}$ ). В связи с этим очень важно знать как с научной, так и практической точки зрения необходимую величину температуры предварительного нагрева охватывающей детали и низкотемпературного охлаждения охватываемой, которые позволят получить необходимое значение временного сборочного зазора как на момент начала их транспортирования на позицию сборки, так и к моменту их начального совмещения. Между тем, одним из решений снижения тепловых и энергетических затрат может быть выбор такого рационального цикла сборки, при котором представится возможность сохранить то тепло и холод, которые приобретают детали на технологических операциях их предварительного нагрева и охлаждения.

В связи с изложенным выше и на основании проведенных авторами комплексных исследований термических способов формирования посадок с натягом установлено, что для эффективного использования сборки деталей с их охлаждением или нагревом и особенно при их совместном использовании необходимо стремиться сокращать затраты времени на выполнение операций сборочного цикла.

Эти затраты времени  $\tau_{\text{сб}}$  при КТСС будут включать: нагрев охватывающей  $\tau_{\text{на}}$  и низкотемпературное охлаждение охватываемой  $\tau_{\text{ов}}$  деталей; транспортирование этих деталей  $\tau_{\text{тра}}$  и  $\tau_{\text{трв}}$ ; их ориентирование  $\tau_{\text{ора}}$  и  $\tau_{\text{орв}}$ ; взаимное соединение деталей с временным зазором  $\tau_y = \tau_{\text{уа}} = \tau_{\text{уб}}$ ; выборку зазора до начала контакта  $\tau_{\text{нк}} = \tau_{\text{нка}} = \tau_{\text{нкв}}$ ; внедрение микрорельефа  $\tau_{\text{вн}}$  и скрепление  $\tau_{\text{скр}}$  соединения с заданным максимальным значением сборочного натяга  $N$ .

Исходя из выше изложенного структуру затрат времени на сборку КТСС соединений с натягом при использовании нагрева охватывающей детали можно представить в виде

$$\tau_{\text{сб а}} = \tau_{\text{на}} + \tau_{\text{тра}} + \tau_{\text{ора}} + \tau_y + \tau_{\text{нка}} + \tau_{\text{вн}} + \tau_{\text{скр}}, \quad (3)$$

а охлажденной до низких температур охватываемой

$$\tau_{\text{сб б}} = \tau_{\text{ов}} + \tau_{\text{трв}} + \tau_{\text{орв}} + \tau_y + \tau_{\text{нкв}} + \tau_{\text{вн}} + \tau_{\text{скр}}. \quad (4)$$

Продолжительность  $\tau_{\text{сб}}$  цикла сборки будет определяться одним из максимальных значений времени сборки  $\tau_{\text{сб а}}$  или  $\tau_{\text{сб в}}$  с учетом минимизации тепловых потерь и затрат на нагрев и охлаждение деталей перед их сборкой.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

На основании выполненных анализа научно-технической литературы, теоретических и экспериментальных исследований ниже будут приведены расчетные зависимости, которые позволят производить расчет затрат на нагрев и охлаждение сопрягаемых деталей при сборке соединений с натягом комбинированным термическим способом сборки, а также производить рациональный выбор технологического цикла сборки.

Затраты  $Z_H$  на нагрев охватывающих деталей можно определить по формуле

$$Z_H = \frac{c_a \cdot \Delta d_a}{\eta_{\text{э}} \cdot \cos \beta \cdot d \cdot \alpha_p} \cdot \rho_a \cdot w_{\text{э}} \cdot V_a, \quad (5)$$

а затраты  $Z_O$  на охлаждение охватываемой детали по формуле

$$Z_O = \frac{c_{\text{сж}} \cdot \Delta d_{\text{сж}}}{E_N \cdot d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \rho_{\text{сж}} \cdot w_N \cdot V_{\text{сж}}, \quad (6)$$

где  $Z_H$  и  $Z_O$  – затраты на нагрев охватывающей и низкотемпературное охлаждение охватываемой деталей;  $d$  – диаметр посадки;  $c_a$ ,  $c_{\text{сж}}$  – теплоемкость материалов сопрягаемых деталей;  $\rho_a$ ,  $\rho_{\text{сж}}$  – удельная плотность их материалов;  $V_a$  и  $V_{\text{сж}}$  – объемы охватывающей и охватываемой деталей;  $\alpha_p$ ,  $\alpha_{\text{сж}}$  – коэффициенты линейного расширения и сжатия материалов сопрягаемых деталей;  $\Delta d_a$  и  $\Delta d_{\text{сж}}$  – увеличение посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании и уменьшение охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении, которые необходимы для создания требуемого временного теплового сборочного зазора для качественной реализации сборки соединений с натягом;  $E_N$  – скрытая теплота испарения жидкого азота, при погружении детали в ванну;  $w_{\text{э}}$  – себестоимость 1 кВт.час электрической энергии;  $w_N$  – себестоимость 1 кг массы жидкого азота;  $\eta_{\text{э}}$  – КПД нагревателя;  $\cos \beta$  – коэффициент мощности.

Для выбора рационального технологического процесса КТСС соединений с натягом следует определить коэффициент относительных затрат на нагрев охватывающих деталей и низкотемпературное охлаждение охватываемых. Он может быть определен, как

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_{\text{э}} \cdot \alpha_{\text{сж}} \cdot V_a \cdot E_N \cdot \rho_a}{\Delta d_{\text{сж}} \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot V_{\text{сж}} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot \cos \beta \cdot \rho_{\text{сж}}} \quad (7)$$

Если коэффициент затрат будет превышать 1, то целесообразно при сборке больше охлаждать охватываемую деталь, а если же он ниже 1, то целесообразно больше нагревать охватывающую деталь.

В случае, когда обе детали изготовлены из одного материала, то коэффициент относительных затрат на нагрев охватывающих деталей и низкотемпературное охлаждение охватываемых будет

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_a \cdot \alpha_{сж} \cdot V_a \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot V_g \cdot \eta_a \cdot \cos \beta}, \quad (8)$$

а если обе детали имеют равные объемы, то этот коэффициент будет

$$K = \frac{\Delta d_a \cdot w_a \cdot \alpha_{сж} \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot \eta_a \cdot \cos \beta} \quad (9)$$

В случае использования для нагрева охватывающих деталей газовых нагревателей коэффициент относительных затрат будет

$$K_z = \frac{\Delta d_a \cdot w_z \cdot \alpha_{сж} \cdot E_N}{\Delta d_g \cdot w_N \cdot \alpha_p \cdot \eta_z}, \quad (10)$$

где  $\eta_z$  – КПД газового нагревателя;  $w_z$  – себестоимость газа.

Время неравномерного нагрева охватывающей детали на выбранном, например, индукционном нагревателе будет определяться по зависимости

$$\tau_H = \frac{c_a \cdot V_a \cdot \rho_a \cdot (T_H - T_c)}{W_H \cdot \eta_a \cdot \cos \varphi}, \quad (11)$$

а время неравномерного низкотемпературного охлаждения охватываемой детали по зависимости

$$\tau_o = \frac{V_g \cdot c_g \cdot \rho_g \cdot \ln \frac{\Delta T}{T_{ок} - T_c}}{S_g \cdot a_g}, \quad (12)$$

где  $T_H$  и  $T_c$  – температура нагрева охватывающей детали и окружающей среды;  $W_H$  – мощность нагревателя;  $\Delta T$  – температурный перепад между охлаждающей средой и охлаждаемой деталью;  $T_{ок}$  – конечная температура охлаждения;  $a$  – коэффициент теплообмена.

Коэффициент соотношения увеличения посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании  $\Delta d_a$  к уменьшению посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении  $\Delta d_g$  будет определяться

$$k \Delta d = \frac{\alpha_p \eta_a \cos \beta \rho_a c_a}{k V \cdot k w \cdot a_{сж} \cdot E \cdot \rho_g c_g} \quad (13)$$

Ниже приведены графики (рис.1 – 3) для определения величины коэффициента соотношения увеличения посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании  $\Delta d_a$  к уменьшению посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении  $\Delta d_g$  для сборки соединений с натягом охватываемой детали и охватывающей, изготавливаемых из материалов сталь-сталь, сталь-бронза и бронза-сталь.

С учетом (2) определив по соответствующему графику величину коэффициента соотношения необходимое уменьшение посадочного диаметра охватываемой при ее низкотемпературном охлаждении  $\Delta d_g$  будет определяться

$$\Delta d_g = \frac{S_{сб} + N_{\max}}{1 + k \Delta d}. \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 kV_{av} &:= 0.1, 0.15.. 2 & k_{weN} &:= 0.1, 0.15.. 1 & \alpha_p &:= 0.0000119 & \alpha_z &:= 0.00001 \\
 EN &:= 43 & \eta_e &:= 0.9 & \cos \beta_e &:= 0.6 & cv &:= 0.334 & \rho_a &:= 7800 & \rho_v &:= 7800 & \text{stal} \\
 & & & & & & ca &:= 0.334 & & & \text{stal}
 \end{aligned}$$

$$k\Delta d(kV_{av}, k_{weN}) := \frac{\alpha_p \cdot \eta_e \cdot \cos \beta_e \cdot \rho_a \cdot ca}{kV_{av} \cdot k_{weN} \cdot \alpha_z \cdot EN \cdot \rho_v \cdot cv}$$

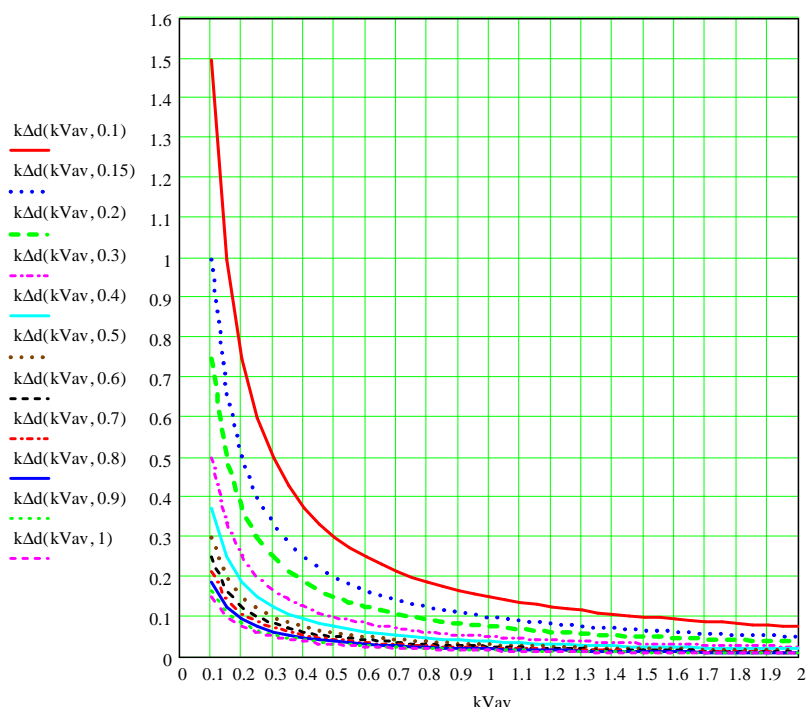


Рис. 1. Зависимость соотношения изменений диаметра посадки охватывающей детали при нагревании и охватываемой при ее охлаждении (детали изготовлены из конструкционной углеродистой стали) от отношения их объемов и себестоимости затрат на нагрев и охлаждение деталей

Rys. 1. Zależność stosunku zmian średnicy pasowania części obejmującej przy nagrzewaniu i obejmowanej przy jej chłodzeniu od stosunku ich objętości oraz kosztów nagrzewania i chłodzenia (konstrukcyjna stal węglowa)

Увеличение посадочного диаметра охватывающей детали при ее нагревании  $\Delta d_a$  будет определяться

$$\Delta d_a = S_{сб} - \Delta d_b. \quad (15)$$

UWAGA: KTCC – sposób montażu z podgrzewaniem



Для практического применения исследований разработаны специальные номограммы для определения рационального энергосберегающего технологического процесса, выбора временных параметров и комплекса технологических параметров.

$$\begin{aligned}
 kV_{av} &:= 0.1, 0.15, \dots, 2 & kweN &:= 0.1, 0.15, \dots, 1 & \alpha z &:= 0.00001 & \alpha p &:= 0.000016 \\
 EN &:= 43 & \eta e &:= 0.9 & \cos \beta e &:= 0.6 & ca &:= 0.334 & \rho v &:= 7800 & \rho a &:= 8880 & & \text{bronza} \\
 & & & & & & cv &:= 0.460 & & & & \text{stal}
 \end{aligned}$$

$$k\Delta d(kV_{av}, kweN) := \frac{\alpha p \cdot \eta e \cdot \cos \beta e \cdot \rho a \cdot ca}{kV_{av} \cdot kweN \cdot \alpha z \cdot EN \cdot \rho v \cdot cv}$$

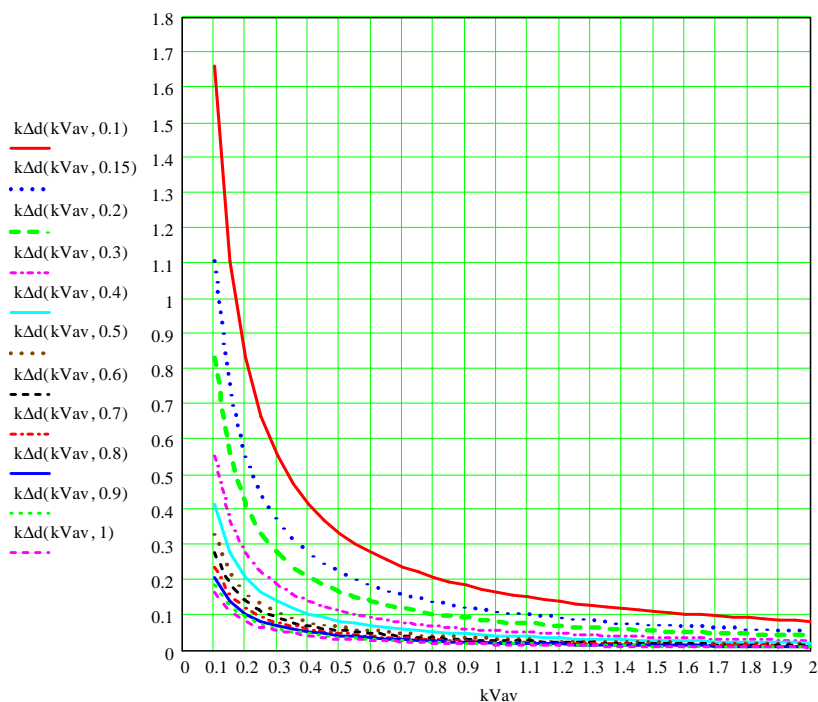


Рис. 3. Зависимость соотношения изменения диаметра посадки охватываемой детали (материал – бронза) при нагревании и охватываемой (материал – конструкционная углеродистая сталь) при ее охлаждении от отношения их объемов и себестоимости затрат на нагрев и охлаждение деталей

Rys. 3. Zależność stosunku zmian pasowania średnicy części obejmującej (brąz) przy nagrzewaniu i części obejmowanej (stal) przy jej chłodzeniu od stosunku ich objętości oraz kosztów energetycznych

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оборський І.Л., Зенкін А.С., Шалай В.О. Розробка конструкції та технології збірки складеного колеса електровоза. //Techniczno - ekonomiczne uwarunkowania rozwoju przedsiębiorczości. Zbior prac 11 Polsko – Ukrainskiej Konferencji Naukowe/ Pod redakcja Czesława Nizankowskiego. – Krakow, 2005. – S. 201 – 208.
2. Оборский И. Л. Технологические основы сборки соединений с натягом термическими способами с использованием регулярного микрорельефа в зоне контакта. – //”Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. – Rzeszow- Regietow (Польша). – 2009. – С. 229 – 234.
3. Оборский И. Л., Зенкин А.С. Применение специальной топологии микрорельефа при сборке соединений с натягом термическими способами. – //”Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. –Rzeszow-Regietow (Польша). – 2009. – С. 235 – 242.

## CHOOSING ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF FORCED-IN JOINTS WITH PREHEATING

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki analiz teoretycznych przeprowadzonych w oparciu o wcześniej wykonane badania eksperymentalne w celu wyboru racjonalnych parametrów technologicznych procesu wciskania wspomaganego termicznie zapewniającego minimalną energochłonność przy spełnieniu wymagań jakościowych.



**Ivan OBORSKI****Witalij SZALAŁAJ****Siergiej OBORSKI****Anatolij ZENKIN**

Uniwersytet Technologii i Projektowania

Kijów, Ukraina

**WYZNACZANIE PARAMETRÓW TEMPERATUROWYCH WPŁYWU CIEPŁA NA CZĘŚCI  
MONTOWANE Z WCISKANIEM****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ****ВВЕДЕНИЕ**

Широкое применение для формирования посадок с натягом приобрели способы сборки, использующие неравномерный нагрев охватывающих и охлаждение охватываемых деталей. Использование таких способов позволяет повысить прочность посадок с натягом, снизить натяг и напряженно-деформированное состояние сборочных единиц, сократить временные и энергетические затраты на сборку.

Однако для реализации этих способов сборки требуется в отдельных случаях создание новых научно-практических подходов для разработки методологии расчета технологических сборочных параметров. В частности, весьма важно получить теоретические зависимости для определения температур предварительного неравномерного нагрева охватывающих и низкотемпературного охлаждения охватываемых деталей.

Следует при этом отметить, что при сборке соединений с натягом очень важно знать, какое может быть распределение температуры в сопрягаемых деталях на момент их начального контактирования (начала формирования сборочного натяга). Это позволит при разработке технологии более точно определять температуру нагрева и охлаждения, увеличение диаметра посадки охватывающей и охватываемой деталей, величину временного сборочного зазора и временные затраты на технологических операциях сборочного цикла.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕРАВНОМЕРНОГО  
ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ**

Выполненными исследованиями установлено, что при сборке комбинированным термическим способом (КТСС) возможно множество сочетаний распределения температуры в деталях на момент их начала контактирования. В каждом конкретном случае для определения необходимого значения температуры требуется применение конкретной расчетной зависимости. На рис. 1 и 2 приведены некоторые примеры возможного распределения температур в деталях.

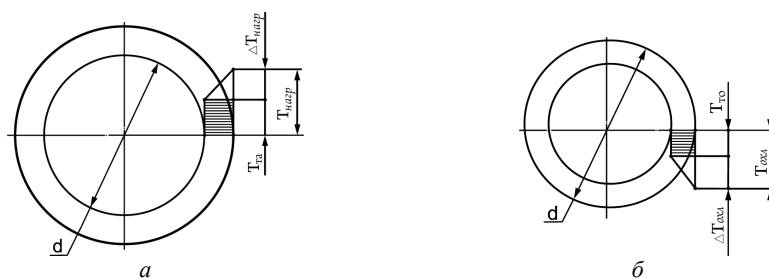


Рис. 1. Схема линейного распределения температуры в тонкостенных деталях при полном нагревании (рис. 1а) охватывающей и низкотемпературном охлаждении (рис. 1б) охватываемой при их сборке КТСС

Rys. 1. Schemat liniowego rozkładu temperatury w cienkościennych częściach przy nagrzewaniu obejmującej (a) i schładzaniu obejmowanej części (b) przy montażu z podgrzewaniem

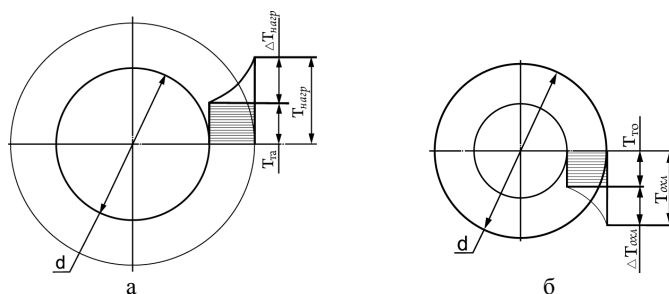


Рис. 2. Схема логарифмического распределения температуры в толстостенных деталях при КТСС: а – при полном нагревании охватывающей детали снаружи; б – при полном низкотемпературном охлаждении охватываемой снаружи

Rys. 2. Schemat logarytmicznego rozkładu temperatury w grubościennych częściach przy zewnętrznym nagrzewaniu części obejmującej (a) i wewnętrznym chłodzeniu części obejmowanej (b)

С учетом изложенного выше для тонкостенной охватываемой детали при подводе тепла (холода) к ее наружной поверхности получены зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) полного неравномерного нагревания  $T_{нагр}$  охватывающей детали и полного низкотемпературного  $T_{охл}$  охлаждения охватываемой детали, соответственно

$$\begin{aligned} T_{T_a} + \Delta T_{нагр} \frac{3 + 2m_a}{6 + 3m_a} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p}, \\ T_{T_o} + \Delta T_{охл} \frac{3 + 2m_b}{6 + 3m_b} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{сж}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha_p$  и  $\alpha_{сж}$  – коэффициенты линейного расширения материала охватывающей и линейного сжатия материала охватываемой деталей;  $m_a = r_{на}/r_{ва} - 1$ ,  $r_{на}$  и  $r_{ва}$  – наружный и внутренний радиусы охватывающей детали;  $m_b = r_{нв}/r_{вв} - 1$ ,  $r_{нв}$  и  $r_{вв}$  – наружный и внутренний радиусы охватываемой детали.

Зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неполного (местного) неравномерного нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей детали и неравномерного низкотемпературного  $T_{\text{охл}}$  охлаждения охватываемой будут, соответственно

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{нагр}} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p} \cdot \frac{6 + 3m_a}{3 + 2m_a}, \\ \Delta T_{\text{охл}} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{6 + 3m_b}{3 + 2m_b}.\end{aligned}\quad (2)$$

С учетом изложенного выше для тонкостенных деталей при подводе тепла (холода) изнутри детали получены зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неравномерного нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей детали и неравномерного низкотемпературного  $T_{\text{охл}}$  охлаждения охватываемой, соответственно

$$\begin{aligned}T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \frac{3 + m_a}{6 + 3m_a} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p}, \\ T_{T_o} + \Delta T_{\text{охл}} \frac{3 + m_b}{6 + 3m_b} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}}.\end{aligned}\quad (3)$$

Зависимости для расчета рациональных температур (с учетом линейного закона их распределения) неполного нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей детали и неполного низкотемпературного  $T_{\text{охл}}$  охлаждения охватываемой будут, соответственно

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{нагр}} \frac{3 + m_a}{6 + 3m_a} &= \frac{\Delta d_a}{d \cdot \alpha_p}, \\ \Delta T_{\text{охл}} &= \frac{\Delta d_b}{d \cdot \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{6 + 3m_b}{3 + m_b}.\end{aligned}\quad (4)$$

В работе с учетом изложенного выше получены также зависимости для расчета рациональных температур нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла по наружной поверхности

$$T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \left[ (1 + m_a)^2 - \frac{m_a(2 + m_a)}{\ln(1 + m_a)^2} \right] \cdot \frac{1}{m_a(2 + m_a)} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \quad (5)$$

и охлаждения  $T_{\text{охл}}$  охватываемой толстостенной детали

$$T_{T_b} + \Delta T_{\text{охл}} \left[ (1 + m_b)^2 - \frac{m_b(2 + m_b)}{\ln(1 + m_b)^2} \right] \cdot \frac{1}{m_b(2 + m_b)} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \quad (6)$$

Зависимости для расчета рациональных температур неполного нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла по наружной поверхности будут

$$\Delta T_{\text{нагр}} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \cdot \frac{m_a(2 + m_a) \cdot \ln(1 + m_a)^2}{(1 + m_a)^2 \cdot \ln(1 + m_a)^2 - m_a(2 + m_a)} \quad (7)$$

и неполного охлаждения  $T_{\text{охл}}$  охватываемой толстостенной детали

$$\Delta T_{\text{охл}} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{m_b(2 + m_b) \cdot \ln(1 + m_b)^2}{(1 + m_b)^2 \cdot \ln(1 + m_b)^2 - m_b(2 + m_b)} \quad (8)$$

В работе с учетом изложенного выше получены также зависимости для расчета рациональных температур полного нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла изнутри

$$T_{T_a} + \Delta T_{\text{нагр}} \left[ \frac{m_a(2 + m_a)}{\ln(1 + m_a)^2} - 1 \right] = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} m_a(2 + m_a) \quad (9)$$

и неполного охлаждения  $T_{\text{охл}}$  охватываемой толстостенной детали

$$T_{T_b} + \Delta T_{\text{охл}} \left[ \frac{m_b(2 + m_b)}{\ln(1 + m_b)^2} - 1 \right] = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} m_b(2 + m_b) \quad (10)$$

Зависимости для расчета рациональных температур неполного (местного) нагревания  $T_{\text{нагр}}$  охватывающей толстостенной детали при подводе к ней тепла изнутри будут

$$\Delta T_{\text{нагр}} = \frac{\Delta d_a}{d \alpha_p} \cdot \frac{m_a(2 + m_a) \cdot \ln(1 + m_a)^2}{m_a(2 + m_a) - \ln(1 + m_a)^2} \quad (11)$$

и неполного (местного) охлаждения  $T_{\text{охл}}$  охватываемой толстостенной детали

$$\Delta T_{\text{охл}} = \frac{\Delta d_b}{d \alpha_{\text{сж}}} \cdot \frac{m_b(2 + m_b) \cdot \ln(1 + m_b)^2}{m_b(2 + m_b) - \ln(1 + m_b)^2} \quad (12)$$

Полученные аналитические расчетные зависимости позволяют для обеспечения заданного значения временного сборочного зазора определять необходимые температуры полного и местного как равномерного, так и неравномерного предварительного термовоздействия (нагрева и охлаждения) на сопрягаемые детали, что может обеспечить возможность их совмещения без непосредственного контакта.

Следует заметить, что возможны отдельные специфичные случаи сборки (например, сложных корпусных деталей из материалов, склонных к изменению структуры материалов и деформациям деталей) при которых, несмотря на достаточно высокую продолжительность процессов термовоздействия на сопрягаемые детали, нагрев (охлаждение) и сборка деталей должны производиться при равномерном распределении температуры. В связи с этим представляет научный и практический интерес установить соотношение температур неравномерного и равномерного термовоздействия на сопрягаемые детали при различных подводах к ним тепла и холода.

#### СООТНОШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР НЕРАВНОМЕРНОГО И РАВНОМЕРНОГО ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОПРЯГАЕМЫЕ ДЕТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОДВОДАХ К НИМ ТЕПЛА И ХОЛОДА

С учетом (1) и (12) при подводе тепла к тонкостенной охватывающей детали или холода к охватываемой снаружи получим температуры  $T_{\text{ста}}$  и  $T_{\text{ств}}$  при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \frac{2r_2^2 - r_2 r - r^2}{3 \cdot (r_2^2 - r^2)},$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \frac{2r^2 - r r_1 - r_1^2}{3 \cdot (r^2 - r_1^2)} \quad (13)$$

При подводе тепла к тонкостенной охватывающей детали или холода к охватываемой изнутри получим температуры  $T_{\text{ста}}$  и  $T_{\text{ств}}$  при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \frac{r_2^2 + r_2 r - 2r^2}{3 \cdot (r_2^2 - r^2)},$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \frac{r^2 + r r_1 - 2r_1^2}{3 \cdot (r^2 - r_1^2)}. \quad (14)$$

При подводе снаружи тепла к толстостенной охватываемой детали или холода к охватываемой детали получим температуры  $T_{\text{ста}}$  и  $T_{\text{ств}}$  при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \cdot \frac{1}{(r_2^2 - r^2)} \left[ r_2^2 - \frac{r_2^2 - r^2}{2 \cdot (\ln r_2 - \ln r)} \right],$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \cdot \frac{1}{(r^2 - r_1^2)} \left[ r^2 - \frac{r^2 - r_1^2}{2 \cdot (\ln r - \ln r_1)} \right]. \quad (15)$$

При подводе изнутри тепла к толстостенной охватываемой детали или холода к охватываемой детали получим температуры  $T_{\text{ста}}$  и  $T_{\text{ств}}$  при равномерном распределении их по толщине изделий, соответственно

$$T_{\text{ста}} = \Delta T_{\text{нагр}} \cdot \frac{1}{(r_2^2 - r^2)} \left[ \frac{r_2^2 - r^2}{2 \cdot (\ln r_2 - \ln r)} - r \right],$$

$$T_{\text{ств}} = \Delta T_{\text{охл}} \cdot \frac{1}{(r^2 - r_1^2)} \left[ \frac{r^2 - r_1^2}{2 \cdot (\ln r - \ln r_1)} - r_1 \right]. \quad (16)$$

## ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании выполненных в настоящем подразделе исследований научно обоснованы принципиальные решения, позволяющие получить аналитические зависимости для определения изменений посадочных диаметров и температурных параметров, изменяемых во времени и обеспечивающих гарантию выполнения технологического процесса сборки КТСС соединений деталей с натягом при наличии временного зазора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оборский И.Л., Андреев А. Г., Щепкин А.В., Арпентьев Б.М. Исследование технологических параметров сборки соединений с натягом, осуществляемых с термовоздействием. // Вестник Нац. техн. ун-та «Харьковский политехн. ин-т»: Сб. науч. работ. Темат. выпуск: Динамика и прочность машин. – Х.: НТУ «ХПИ». — 2008. — № 36. — С. 147 – 153.
2. Оборский И.Л., Шалай В.А., Зенкин А.С. Выбор температуры нагрева и охлаждения для сборки соединений с натягом комбинированным термическим способом. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциалов в современных условиях» Сб.: Материалы 9-й юбилейной Промышленной конференции с международным участием и блиц – выставки, 11- 18 февраля 2009 г., п. Славское, Карпаты. – К., 2009.- с. 315 – 316
3. Оборский И.Л., Андреев А.Г., Щепкин А.И. Определение параметров термовоздействия, обеспечивающих энергосбережение, на сопрягаемые детали при сборке соединений с натягом. “Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. Материалы

- 9-го международного научно-технического семинара, 23 – 27 февраля 2009 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2009. – С. 198 – 200.
4. Оборский И.Л. Технологическое обеспечение сборки соединений с натягом комбинированным термическим способом. //“Современные проблемы подготовительного производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. 26 –28 февраля 2008 г. Сб.: – К., Материалы 8-го международного научно-технического семинара, 26 – 28 февраля 2008 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2008. –С. 190 – 192.
  5. Оборский И. Л. Технологические основы сборки соединений с натягом термическими способами с использованием регулярного микрорельефа в зоне контакта. – //“Modulowe technologie i konstrukcje w budowie maszyn MTK’2009. – Rzeszow- Regietow (Польша). – С. 229 – 234.
  6. Оборский И.Л. Выбор условий для качественной реализации процесса формирования соединений деталей с натягом КТСС.//“Человек–технологии–среда. Теория и практика”. 15 – 19 сентября 2009 г. Сб.: Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции, 15 – 19 сентября 2009 г., г. Судак, Украина. – 2009. – С. 83 – 85.
  7. Оборский И.Л. Методология определения технологических параметров, обеспечивающих качественный процесс выполнения соединений деталей с натягом КТСС. //“Человек–технологии–среда. Теория и практика”. 15 – 19 сентября 2009 г. Сб.: Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции, 15 – 19 сентября 2009 г., г. Судак, Украина. – 2009. – С. 85 – 88.

#### WYZNACZANIE PARAMETRÓW TEMPERATUROWYCH WPŁYWU CIEPŁA NA CZĘŚCI MONTOWANE Z WCISKANIEM

**Streszczenie.** W pracy przytoczono analizy teoretyczne oprate wcześniejszych badaniach eksperymentalnych, Umożliwiające wyznaczanie temperatur nagrzewania części obejmującej połączenia wciskowego oraz temperatur schładzania części obejmowanej. Przytoczone zależności umożliwiają również wyznaczanie rozkładów temperatur w częściach łączonych w trakcie wciskania, co umożliwia dokładne wyznaczenie uzyskanego wcisku.

Ivan OBORSKI

Anatolij ZENKIN

Nina OBORSKA

Włodimir DWORŻAK

Uniwersytet Technologii i Projektowania

Kijów, Ukraina

**BADANIE PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNO-TECHNOLOGICZNYCH  
ORAZ OPRACOWANIE TECHNOLOGII MONTAŻU MAŁOGABARYTOWYCH  
POŁĄCZEŃ CZĘŚCI WRZECION**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ДЕТАЛЕЙ ВЕРЕТЕН**

**ВВЕДЕНИЕ**

При формировании соединений с натягом КТСС в зоне контакта происходят сложные процессы, связанные с одновременным появлением радиальных и тангенциальных напряжений. Они вызваны формированием натяга и температурными деформациями и приводят к появлению торцевого зазора между охватываемыми деталями (рис. 1), например, между блочком и насадкой при их установке на шпиндель веретена кольцепрядильной машины. Этот недостаток требует устранения, так как качество изделия в данном случае не соответствует техническим условиям.

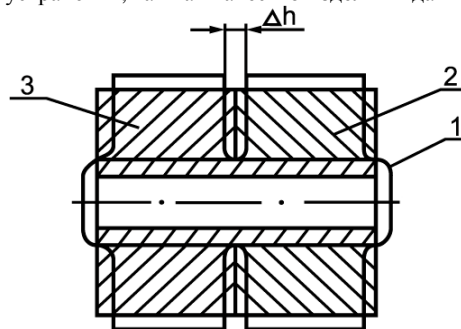


Рис. 1. Многоэлементное соединение деталей с натягом и схема деформаций деталей при КТСС: 1 – охватываемая деталь; 2 и 3 – охватывающие детали

Rys. 1. Wieloelementowe połączenie części wciskanych oraz schemat deformacji przy podgrzewaniu: 1 – część obejmowana, 2, 3 – części obejmujące

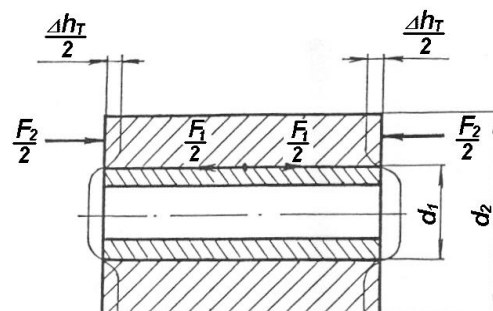


Рис. 2. Схема действующих сил и деформаций при КТСС соединения деталей с натягом

Rys. 2. Schemat sił i odkształceń przy łączeniu części wciskanych z podgrzewaniem

UWAGA: КТСС – способ монтажа с подгреванием

### ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ ВЕРЕТЕН КОЛЬЦЕПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН

Величину осевых перемещений  $\Delta h_{\text{ар}}$  и  $\Delta h_{\text{вр}}$  торцевой поверхности охватывающей втулки и охватываемого вала под влиянием постоянной радиальной нагрузки можно определить по формулам (1) и (2), которые получены на основании решения дифференциальных уравнений, описывающих плоское напряженное состояние пустотелого цилиндра

$$\Delta h_{\text{ар}} = -\mu_a \frac{hd}{d_2^2} N, \quad (1)$$

$$\Delta h_{\text{вр}} = -\mu_b \frac{hd_1}{d^2} N, \quad (2)$$

где  $N$  – натяг;  $h$  – длина соединения;  $\mu_b$  и  $\mu_a$  – коэффициенты Пуассона для материалов охватываемой и охватывающей деталей;  $d_2$ ,  $d$  и  $d_1$  – наружный диаметр охватываемой, диаметр посадки и внутренний охватывающей деталей.

Из решения уравнения теплового баланса деталей соединения, находим выражения для определения термических перемещений охватывающей детали

$$\Delta h_{\text{ат}} = \frac{2fh^2N \cdot c_a m_a}{2fhd(c_b m_b + c_a m_a) + d_2^2 c_a m_a} \quad (3)$$

и соответственно охватываемой детали

$$\Delta h_{\text{вт}} = \frac{2fh^2N \cdot c_b m_b}{2fhd_1(c_b m_b + c_a m_a) + d^2 c_b m_b}, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $c_b$ ,  $c_a$  – теплоемкость материалов сопрягаемых деталей;  $m_b$ ,  $m_a$  – их массы.

Уравнение для определения общего осевого перемещения (деформаций) деталей соединения после скрепления втулки с валом из однородных материалов и соответственно торцевого зазора будет иметь вид:

$$\Delta h_t = Nk \left\{ \left[ \mu_b \frac{d_1}{d^2} + \mu_a \frac{d}{d_2^2} \right] + 2fh \left[ \frac{c_b m_b}{2fhd(c_b m_b + c_a m_a) + d_2^2 c_b m_b} + \frac{c_a m_a}{2fhd_1(c_b m_b + c_a m_a) + d^2 c_a m_a} \right] \right\} \quad (5)$$

Если принять при этом коэффициент трения по торцам близким к 0, получим условие формирования соединения без торцевых зазоров [4]

$$\frac{\mu_b N_b}{\mu_a N_a} \approx -\frac{d^3}{d_1 \cdot d_2^2}. \quad (6)$$

Таким образом, проведенные исследования позволили раскрыть специфику формирования многоэлементных соединений деталей с натягом КТСС и на этой основе установить расчетные



модели по определению комплекса конструкторско-технологических параметров, обеспечивающих заданное качество сборки, а также влияние соотношения температур нагрева охватывающих и низкотемпературного охлаждения охватываемых деталей, их конструкции и материалов на напряженно-деформированное состояние изделий.

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОСЛОЕК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

Допустим мы введем в соединение прослойку с коэффициентом ее трения по металлу  $f_{кл}$  значительно меньшим, чем металла по металлу  $f_m$ . При этом общая длина  $h$  соединения ( посадки ) составит

$$h = h_m + h_{кл} . \quad (7)$$

При этом величина приведенного коэффициента трения  $f'$  будет

$$f' = \frac{c_b c_a m_b m_a}{(h_{кл} + h_m) 2N} \frac{N(d^2 + d_2^2)}{[c_b m_b d_1 (c_b m_b + c_a m_a) - c_b m_b d (c_b m_b + c_a m_a)]} , \quad (8)$$

а длина прослойки

$$h_{кл} = \frac{c_b c_a m_b m_a N(d^2 + d_2^2) - f h_m 2\{N[(c_b m_b) d_1 - (c_a m_a) d]\}(c_b m_b + c_a m_a)}{2f\{N[c_b m_b d_1 + c_a m_a d]\} (c_b m_b + c_a m_a)} . \quad (9)$$

Для подтверждения теоретических данных были проведены экспериментальные и расчетно-экспериментальные исследования технологических параметров прочности многоэлементных соединений и величины торцевого зазора между торцами сопрягаемых деталей веретена. Исследования ставили целью подтвердить выдвинутые предположения о возможности значительного уменьшения или практического исключения торцевого зазора между охватывающими деталями при сборке комбинированным термическим способом.

### ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ КТСС

Определение временных и температурных параметров технологи КТСС деталей небольшого посадочного диаметра и соизмеримой длины можно проводить по номограммам, представленных на рис. 3 – 5. Номограммы использованы при разработке технологии и оборудования для сборки деталей веретен кольцепрядильных машин в условиях производственного объединения. Номограмма построена на основе зависимостей, полученных авторами, и состоит из трех частей (основной номограммы и двух дополнительных).

Приняв температурный перепад между сопрягаемыми деталями  $\Delta T_{исл}$ , константы  $A$  и  $B$ , которые характеризуют соответственно свойства материалов сопрягаемых деталей и их геометрические параметры ( $A = \alpha / c\rho$ ;  $B = F/V$ ), теплопроводность материала  $a$ , удельную теплоемкость  $c$ , удельную плотность  $\rho$  материала деталей, площадь  $F$  поверхности теплообмена детали, объем детали  $V$ , наружный радиус сопрягаемой детали  $R$  и длину  $l$ , внутренний радиус  $r$  сопрягаемой детали и диаметр посадки  $d$ , можно решать задачи по определению времени  $\tau_i$ , выполнения сборочных операций или изменения  $\Delta T_i$  температуры деталей при сборке малогабаритных изделий. По номограммам (рис. 3) и (рис. 4) определим коэффициенты  $A$  и  $B$ , а по основной номограмме с использованием полученных коэффициентов  $A$  и  $B$  – время  $\tau_i$ , выполнения сборочных операций или изменения  $\Delta T_i$  температуры деталей при сборке малогабаритных изделий. Последовательность и направление решения этих задач показано линиями со стрелками.

Временные и температурные параметры технологии КТСС для деталей типа втулок могут быть определены по номограммам, представленным на рис. 4 – 5.

Номограмма для определения изменения температуры  $\Delta T_1$  приведена на рис. 5 и разработана на основе полученных авторами аналитических зависимостей, представляет их графическое решение и состоит из 6 квадрантов. По оси абсцисс квадранта 1 отложены значения коэффициента

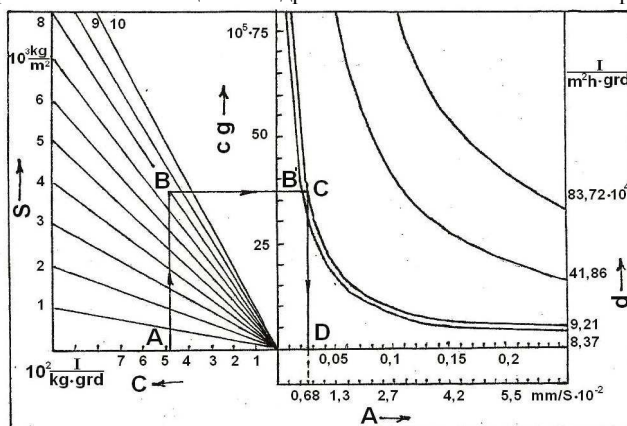


Рис. 3. Номограмма для выбора параметра А при определении временных и температурных параметров (рис. 5) КТСС соединений с деталями малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин и изменения температуры сопрягаемыми деталями

Rys. 3. Nomogram dla wyboru parametru A przy wyznaczaniu czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń z częściami o małej średnicy typu wrzeciona maszyn włókienniczych i zmian temperatur połączonych części

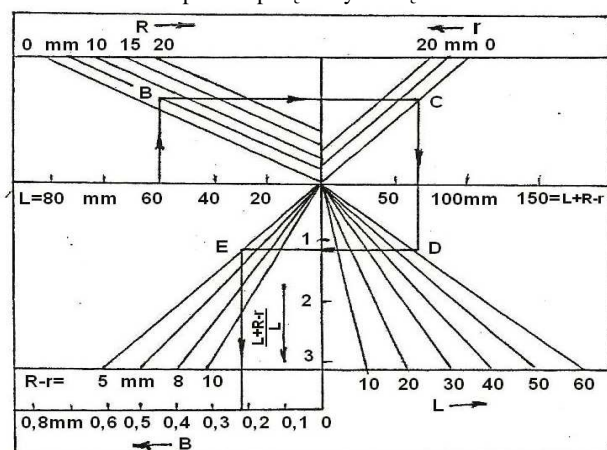


Рис. 4. Номограмма выбора параметра В при определении временных и температурных параметров (рис. 5) КТСС соединений малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин и изменения температуры сопрягаемыми деталями

Rys. 4. Nomogram dla wyboru parametru B przy wyznaczaniu czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń o małej średnicy i zmian temperatur połączonych części

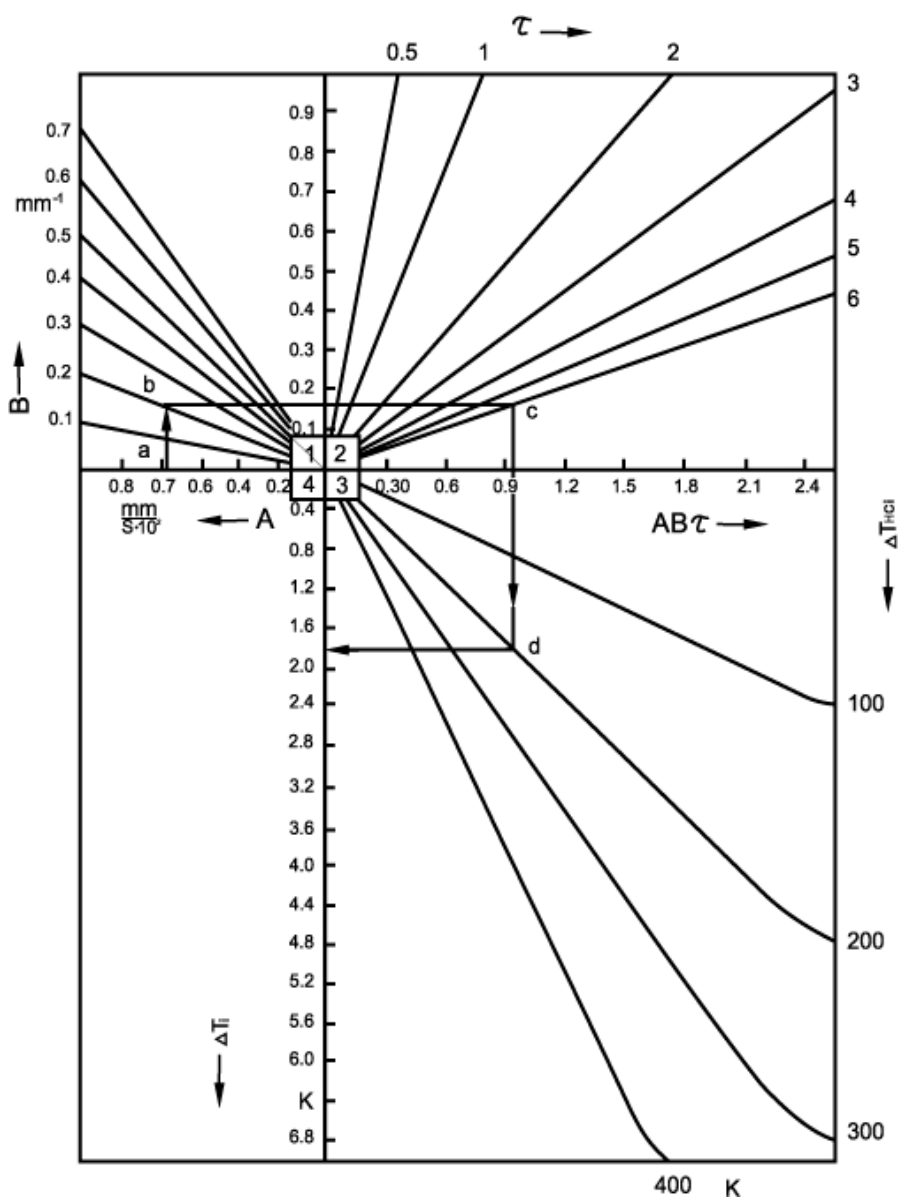


Рис. 5. Номограммы для определения временных и температурных параметров КТСС соединений с деталями малого посадочного диаметра типа веретен кольцепрядильных машин

Rys. 5. Nomogram dla wyznaczania czasowych i temperaturowych parametrów podgrzewania połączeń z częściami wrzecion o małych średnicach

## ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СПОСОБОМ КТСС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

Для осуществления технологии КТСС разработано технологическое оборудование для автоматической сборки малогабаритных деталей веретена коленчатой машины. Предложено цилиндрическое соединение с натягом бочка и насадки со шпинделем взамен конусного. Диаметр посадки 8 мм. Предлагается проводить сборку таких изделий с использованием КТСС (с нагревом бочков до температуры 130-150°C и насадок до 115-125°C, а также низкотемпературным охлаждением шпинделей до -180–(-195,6)°C. При сборке использовано оригинальное сборочное устройство и технология формирования соединений деталей с натягом, разработанные и защищены экономическим патентом №2247951 [5].

Оригинальность устройства состоит в том, что его конструктивное выполнение и расположение сборочных модулей обеспечивают реализацию технологии с повышенными скоростями ориентирования и сборки при минимальных потерях тепла-холода сопрягаемыми деталями, что позволило сократить энергетические и временные затраты. Модуль ориентирования деталей выполнен заодно с устройствами для нагрева охватываемых деталей (бочка и насадки) и представляет собой два цилиндрических индуктора ТВЧ, расположенных друг под другом (верхнего 1 для бочка и нижнего 2 для насадки). Между ними расположено цилиндрическое приспособление 3 для охлаждения деталей после сборки, выполненное в виде трубчатого кольца с отверстием для подвода охлаждающей жидкости при охлаждении собранного узла, чем обеспечено скорость и направленность формирования натяга и исключение торцевого зазора между бочком и насадкой. Предложены конструкции накопителей и приспособлений для поштучного отделения соответственно для стержней и конусных деталей, а также их расположение, чем обеспечены минимальные затраты времени и высокая надежность транспортирования собираемых деталей.

Конструкция камеры для охлаждения позволяет проводить охлаждение стержней при минимальных затратах жидкого азота, так как выполнена закрытого типа и дает возможность использовать для охлаждения выделяемые пары азота.

Конструктивное исполнение модуля для подачи конусной детали в зону нагрева и сборки, а также его размещение позволяют сократить затраты времени и улучшают условия процесса ее транспортирования и ориентирования при сборке.

Таким образом, в разделе подтверждены научные принципы создания модулей ориентирования сборочного оборудования для осуществления КТСС многоэлементных малогабаритных соединений с натягом.

## ВЫВОДЫ

1. Комплексные исследования особенностей формирования малогабаритных многоэлементных соединений подтвердили закономерности формирования зоны контакта деталей при КТСС с учетом физико-механических свойств материалов деталей, параметров микрорельефа и промежуточных прослоек в зоне контакта, обеспечивающих заданную прочность соединений и снижение напряженно-деформированного состояния.

2. Подтверждено, что при соотношении  $\mu_b N_b / \mu_a N_a = d^3 / d_1 \cdot d_2^2$ , учитывающем соотношение свойств материалов и параметров соединения, характеризующих посадку с натягом, зазор между охватываемыми деталями будет отсутствовать.

Таким образом подтверждена методология для выбора рациональных параметров топологии подготовки сопрягаемых поверхностей деталей накаткой специальных видов регулярного микрорельефа, параметров промежуточных прослоек в зоне их контакта и вида термовоздействия для технологического обеспечения КТСС соединений с натягом, позволяющие эффективно

управлять технологическим процессом формирования ответственных соединений с натягом, обеспечивающих заданную эксплуатационную прочность и надежность посадок с натягом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арпентьев Б.М., Зенкин А.С., Оборский И.Л. Многоэлементная сборка соединений с натягом термическими методами с использованием клеевой прослойки. Изв. вузов. Сер.Машиностроение.-М.-1989.-№6.-С.34-38.
2. Вильнав Жан-Жак. Клеевые соединения / Л.В. Синегубова (пер. с фр.); Г.В.Малышева (предисл.и ред.пер.) – М.: Техносфера, 2007. – 381.
3. Оборский И.Л., Зенин А.С., Шалай В.О., Сорока О.Б. Расчет параметров промежуточных прослоек при формировании соединений с натягом термическими методами. “Современные проблемы подготовительного производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте”. Сб.: Материалы 9-го международного научно-технического семинара, 23 – 27 февраля 2009 г., г. Свалява: – К.: АТМ Украины, 2009. – С. 95 – 99.
4. Оборський І.Л. Дослідження параметрів складання багатоелементних з'єднань з натягом веретен кільцепрядильних машин. // Проблеми легкої і текстильної промисловості України. – № 1(7). –Херсон, 2004. – С. 40–42.
5. Wirtschaftspatent DDR DD 224795 A1, WP B 23 P 11/02. Vorrichtung zum Fugen von Teilen mit Schrumpf-Dehnverbindungen für zylindrische Kleinteile // Kurjatschij St., Oborski I.L., Blume F. – №261778 0, заявлено 09.04.84; опубл. 17.07.85.

#### TESTING THE CONSTRUCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND PREPARING THE ASSEMBLY TECHNOLOGY OF SMALL JOINTS' PARTS OF SPINDLE

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w celu wyznaczenia parametrów technologicznych wykonywania połączeń wciskowych wspomaganych termicznie małych tulejek wrzecion. Wyniki badań przedstawiono w postaci nomogramów umożliwiających łatwy i optymalny dobór tych parametrów w przypadku montażu podobnych połączeń.

**Stanisław PERGAŁOWSKI**

**Janusz KOBIAŁKA**

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego

Warszawa, Polska

**Jerzy ŁUNARSKI**

Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego

Warszawa, Polska

Politechnika Rzeszowska,

Rzeszów, Polska

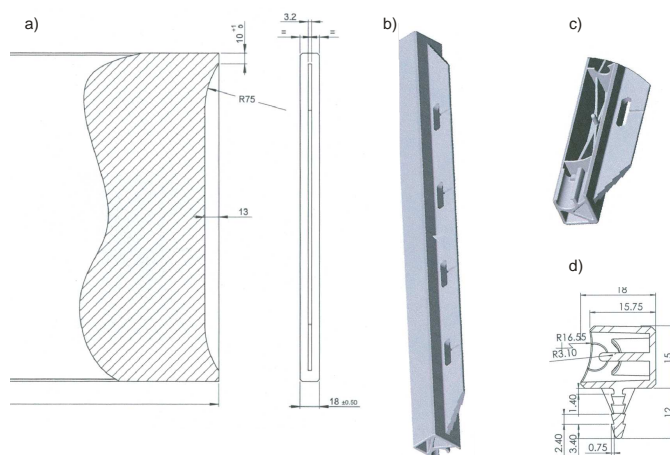
## AUTOMATYZACJA WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ WCISKANYCH DREWNO-TWORZYWO SZTUCZNE

### AUTOMATION OF MAKING FORCED-IN JOINTS WOOD-PLASTIC TYPE

Wymagania doskonalenia konkurencyjności w różnych sektorach wytwórczych skłaniają do podejmowania prac naukowo-badawczych w celu ulepszenia istniejących rozwiązań na takie, które zapewniłyby:

- mniejsze koszty wytwarzania,
- lepszą jakość wyrobów,
- łatwiejszą i tańszą eksploatację itp.

Przykładem takiego rozwiązania jest konstrukcja specjalnego połączenia półki drewnianej ze specjalną listwą z tworzywa sztucznego, której usytuowanie przy bocznych krawędziach półki znacznie upraszcza ich montaż ze stojakami regałowymi lub ściankami nośnymi mebli, zapewniając jednocześnie niezawodne i trwałe połączenie półki z innymi elementami. Zasadę tego połączenia pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Elementy składowe nowego połączenia drewno-tworzywo sztuczne: a) brzeg półki drewnianej z wyfrezowanym rowkiem, b) listwa z tworzywa sztucznego z pletwą wciskaną w rowek półki, c) fragment listwy z widocznymi wzmocnieniami i powierzchniami montażowymi, d) przekrój listwy z kształtem pletwy wciskanej w rowek półki

Celem wciśnięcia pletwy listwy w rowek półki konieczny jest znaczny, równomierny nacisk na listwę, w wyniku którego tworzywo pletwy ulega sprężystej deformacji (ściskaniu), zaś jej kształt powoduje, że siły sprężystości powodują zakleszczenie choinkowych występów pletwy w rowku tworząc połączenie praktycznie nierozbieralne. Wewnętrzne zebra usztywniające listwy zapewniają jej dużą wytrzymałość i sztywność zaś ukształtowanie powierzchni pod bolce złączne umożliwia łatwe wykonanie, przez nabywcę zestawu regałowego lub meblowego, trwałego i niezawodnego połączenia.

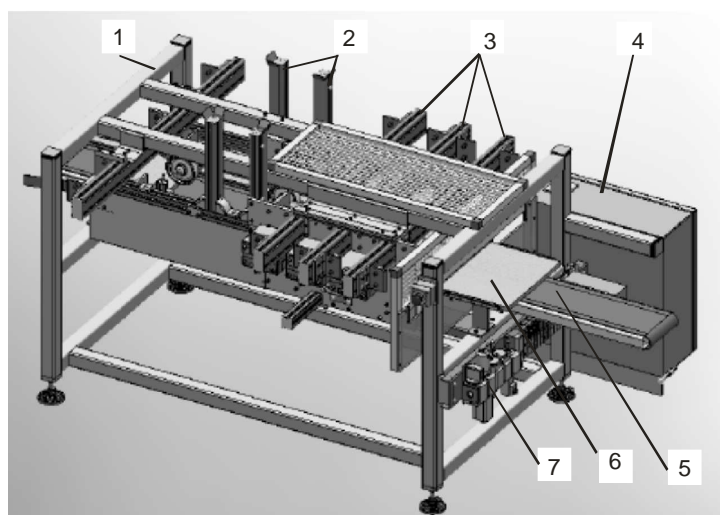
Potrzeby wykonywania takich połączeń półki z listwą w dużych seriach produkcyjnych uzasadniały opracowanie i wykonanie specjalnej zautomatyzowanej linii wytwórczej, w której na jednym ze stanowisk dokonywana byłaby operacja jednoczesnego, obustronnego wciskania wskazanych listew w podawane półki z wyfrezowanym rowkiem.

Względem tego urządzenia sformułowano następujące wymagania:

- możliwość automatycznego funkcjonowania w zautomatyzowanej linii wytwarzania półek, jak również przy ręcznym podawaniu półek do urządzenia,
- możliwość łatwego przezbierania urządzenia do wytwarzania czterech rodzajów półek (dwie długości i dwie szerokości), do których mogłyby być wciskane cztery rodzaje listew bocznych,
- automatyczne wykluczanie ze strumienia zmontowanych półek takich, w których wystąpiły wady połączenia,
- zapewnienie wydajności wynoszącej 500 sztuk montowanych półek w ciągu godziny,
- zapewnienie pełnego bezpieczeństwa pracy personelu i niedopuszczenie do awaryjnych uszkodzeń urządzenia i in.

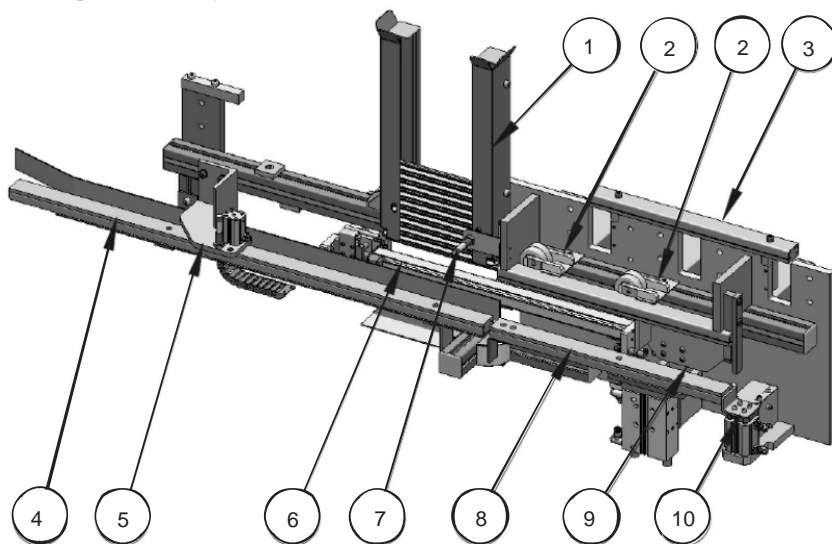
Urządzenie spełniające powyższe wymagania opracowano i wykonano w Zakładzie Technologii Montażu (TEKOMA-KOPROTECH) Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie.

Ogólny schemat 3D urządzenia pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat ogólny 3D urządzenia do wciskania listew z tworzywa sztucznego w rowki półek drewnianych: 1 – konstrukcja nośna urządzenia, 2 – magazyn listew z mechanizmem pojedynczego wydawania (po obu stronach urządzenia), 3 – siłowniki wciskające listwę (po obu stronach urządzenia), 4 – układ sterowania z pulpitem sterującym, 5 – przenośnik taśmowy półek, 6 – półka na przenośniku, 7 – układ przygotowania powietrza

Przenośnik taśmowy przemieszcza półki usytuowane w dwóch liniowych prowadnicach bocznych, przestawialnych w celu dostosowania do długości aktualnie wykonywanej partii półek. Z chwilą, gdy półka znajdzie się w strefie roboczej jest ona zatrzymywana zderzakami, unoszona siłownikami do poziomu przygotowanych listew, wyrównywana i unieruchamiana (mocowanie siłownikami). Wcześniej do strefy roboczej z magazynku listew, mechanizmami pojedynczego wydawania i mechanizmami podawania listew (z obu stron półki) podawane są listwy z tworzywa sztucznego w ten sposób, aby ich pletwy znalazły się naprzeciw rowków w półce. Zasygnalizowanie przez czujniki właściwego, wzajemnego położenia półki i listew uruchamia proces wciskania. Listwy dłuższe wciskane są za pomocą trzech siłowników pneumatycznych i listwy dociskowej, zaś krótsze – za pomocą dwóch siłowników i listwy dociskowej. Schemat tej strefy urządzenia pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat bocznego zespołu montażowego (strona prawa, widok od wnętrza maszyny):

1 – zasobnik listew z tworzywa sztucznego, 2 – rolki ustawiające listwę, 3 – zawiesie bocznego zespołu montażowego, 4 – prowadnica stabilizująca ruch półki, 5 – zespół bramki wejściowej, 6 – mechanizm podawania listwy, 7 – czujnik obecności listew w zasobniku, 8 – zespół podnoszenia półki, 9 – wspornik podtrzymujący listwy, 10 – zespół bramki wyjściowej

Analogiczny mechanizm umieszczony jest również po lewej stronie przenośnika zaś ich działania są zsynchronizowane zapewniając jednocześnie wciskanie listew z obu stron półki. W wykonanej wersji urządzenia listwy wkładane są ręcznie do magazynka, którego jeden wspornik prowadnicowy może być przestawialny celem dostosowania szerokości magazynu do szerokości aktualnie montowanych listew. Schemat tego układu urządzenia pokazano na rys. 4.

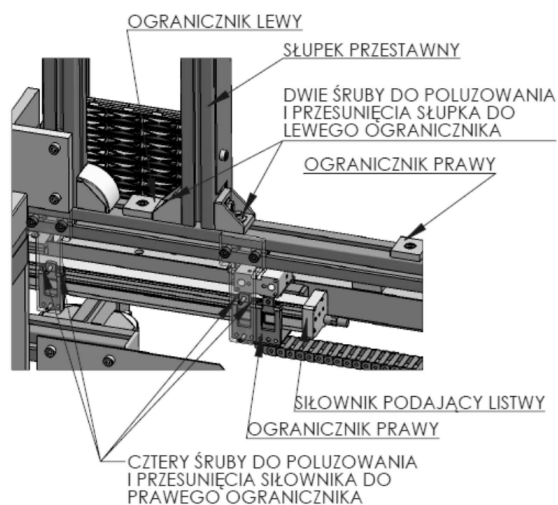
Równie łatwe jest przebrojenie dostosowujące prowadnice półek do ich różnej długości – w tym celu dokonuje się rozsunięcia (lub zsunięcia) bocznych prowadników półek mocowanych śrubami do ich wsporników. Ustalona odległość między tymi prowadnikami, odpowiadająca długości podawanych półek, zapewnia ich równomierny i zorientowany przesuw.

W celu zapewnienia szybkości działania i wymaganej wydajności urządzenia zastosowano napędy pneumatyczne w postaci:

- siłowników kompaktowych dla zatrzymywania półek w strefie roboczej, wciskania listew i ich przytrzymywania,

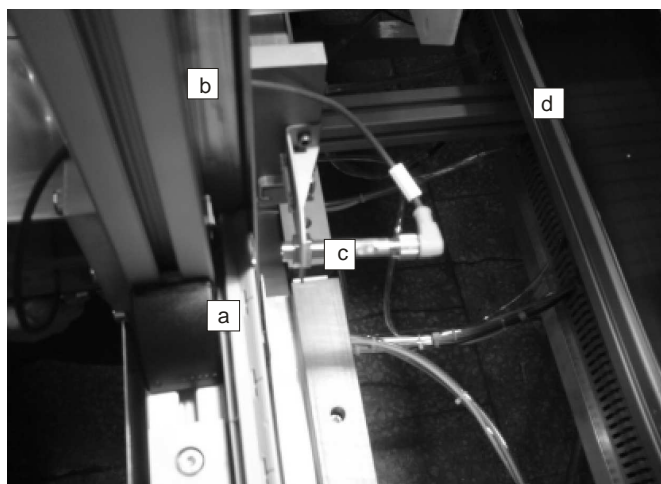


- siłowników z prowadzeniem do podnoszenia półki i jej wyrównywania, wycofania wysuwaka oraz dolnego podparcia listwy,
- siłownika zderzakowego do wpuszczania półki do strefy roboczej,
- napędu liniowego do podnoszenia listwy.



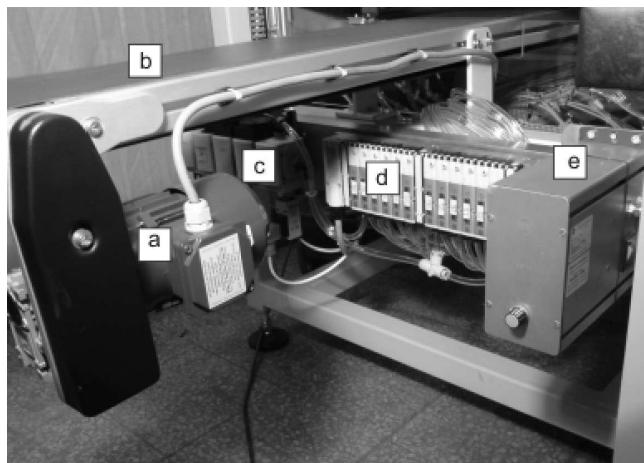
Rys. 4. Układ do podawania listew oraz sposób jego przeobrażenia (opisy na rysunku)

Zastosowane w urządzeniu czujniki optyczne sygnalizują obecność: nowej półki przed strefą roboczą, obecność zapasu 4-ch listew w magazynku oraz obecność półki w położeniu roboczym. Widok ogólny zasobnika listew z czujnikiem w wykonanym urządzeniu pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Widok zewnętrzny zasobnika listew z czujnikiem w wykonanym urządzeniu: a) listwa z tworzywa sztucznego, b) prowadnica listwy, c) czujnik obecności listew w magazynku, d) przenośnik taśmowy

Układ sterowania urządzenia wykonano na bazie sterownika PLC firmy Idec z wykorzystaniem ciekłokrystalicznego pulpitu operatorskiego Beijer Electronics. Opracowany program sterujący kontroluje sygnały zbliżeniowych czujników na siłownikach pneumatycznych, z przycisków sterowniczych oraz z pulpitu operatorskiego i według określonego algorytmu uruchamia sekwencyjnie siłowniki pneumatyczne. Na pulpicie operatorskim wyświetlane są informacje o stanie pracy urządzenia. Niektóre elementy tego układu uwidoczniono na rys. 6.



Rys. 6. Widok niektórych elementów sterowania urządzeniem do wciskania listew: a) motoreduktor napędu przenośnika taśmowego, b) przenośnik taśmowy, c) zespół przygotowania sprężonego powietrza, d) wyspa zaworowa, e) falownik motoreduktora

#### PODSUMOWANIE

1. Opracowane i wykonane urządzenie spełnia założone wymagania automatycznego wykonania połączeń wciskanych i zapewnia wymaganą wydajność 500 sztuk zmontowanych półek w ciągu godziny.
2. Urządzenie jest łatwo przezbieralne do wykonywania 4-ch rodzajów półek (dwie długości i dwie szerokości) z wciskaniem 4-ma rodzajami listew (2 długości, 2 warianty konstrukcyjne).
3. Urządzenie wymaga okresowego, ręcznego załadunku listew do magazynków oraz automatycznego lub ręcznego podawania półek na przenośnik taśmowy.

#### AUTOMATION OF MAKING FORCED-IN JOINTS WOOD-PLASTIC TYPE

**Abstract.** In the work a construction of automatic device for making joints in wooden shelves with assembly forced-in strips is presented. Strips have a special construction, which facilitates assembly of cabinets and furniture. Device was designed in IMBIGS Warsaw. It has a productivity 500 shelves with two-sided forced-in strips per hours.