

В.М. ТОНКОНОГИЙ, д-р техн. наук,
Л.М. ПЕРПЕРИ, канд. техн. наук,
Л.В. БОВНЕГРА, канд. техн. наук,
А.М. ГОЛОБОРОДЬКО, Одесса, Украина

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ АБРАЗИВНО-ВЫГЛАЖИВАЮЩИХ РАЗВЕРТОК С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

У статті розглянуті основні умови та надано рекомендації щодо вибору раціональних матеріалів робочих елементів абразивно-вигладжувальних розгортки. Проведено експериментальні дослідження з визначення впливу зернистості абразивних елементів на середні значення шорсткості поверхні отворів.

В статье рассмотрены основные условия и даны рекомендации по выбору рациональных материалов рабочих элементов абразивно-выглаживающих разверток. Проведены экспериментальные исследования по определению влияния зернистости абразивных элементов на средние значения шероховатости поверхности отверстий.

In article the basic conditions are considered and recommendations for choice rational materials of working elements abразивно-burnishing reamers are made. Experimental researches by definition of influence of granularity of abrasive elements on average values of a roughness of a surface of apertures are spent.

Требования, предъявляемые к точности размера, формы и расположения точных координированных отверстий (IT 5 – 6), а также к качеству поверхностного слоя приводят к совершенствованию технологических методов механической обработки. Качество поверхности является одним из наиболее важных факторов и обусловлено свойствами материалов и методом механической обработки. В этих условиях актуальным является вопрос, касающийся определения влияния зернистости рабочих элементов абразивно-выглаживающих разверток на шероховатость поверхности.

Цель работы – определение рациональных характеристик материалов рабочих элементов для конкретных условий обработки абразивно-выглаживающими развертками (АВР).

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть условия обработки;
- определить материалы рабочих элементов и их параметры.

Условия обработки определяются материалом заготовки, ее твердостью, а также диаметром отверстия и припуском на абразивное развертывание. Скорость вращения АВР при размерной обработке назначалась из числа рекомендуемых значений для процессов хонингования и абразивного развертывания [1].

Определение рациональных материалов рабочих элементов для конкретных условий абразивно-выглаживающего развертывания осуществлялось на основе размаха и средних значений шероховатости поверхности после размерной и отделочной обработки АВР представленной на рис.1. Геометрия АВР – углы разворота между абразивным элементом (АЭ) 5 и направляющими элементами 6, 3, 4 соответственно $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$: $\varphi_1 = 80^\circ - 90^\circ$, $\varphi_2 = 180^\circ$, $\varphi_3 = 270^\circ$. Для обеспечения возможности съема припуска большей величины на наружную поверхность поворотного блока наносят гальванопокрытие [2]. Отношения суммарной длины дуг абразивных элементов к длине окружности обрабатываемого отверстия находились в диапазонах $q = 0,10 - 0,15$ и $q = 0,15 - 0,20$ для АВР с АЭ и АВР с абразивной вставкой с нанесенным гальванопокрытием (АВГП) соответственно. Длины рабочих элементов находились в диапазоне 0,25 – 0,8 длины обрабатываемых отверстий (19 – 150 мм). Материал заготовок – сталь 20Х с HB \leq 216 и HRC 32 – 36; сталь ШХ15 с HRC 18 – 22 и HRC 58 – 62; сталь 65Г с HRC 48 – 54. Исследования проводились на многоцелевом станке модели 2254BM1Ф4. Шероховатость поверхности отверстий заготовок находилась в диапазоне Ra = 0,32 – 1,25 мкм и обеспечивалась на операции растачивания твердосплавными резцами и резцами из эльбора [3]. В качестве СОТС использовалась 30% водная эмульсия.

В качестве абразивных материалов использовались гексанитовые порошки марки СГАД, кубонит марки КР и алмазные порошки марки АС6, АС32, АСВ зернистостью от 63/50 до 200/160. Предварительный выбор материалов рабочих элементов АВР осуществлялся с учетом обрабатываемых материалов, их твердости, а также условий абразивно-выглаживающего развертывания.

Влияние зернистости абразивных элементов АВР на средние значения шероховатости поверхности отверстий после размерного этапа – *a* и отделочного этапа – *b* обработки показаны на рис. 2.

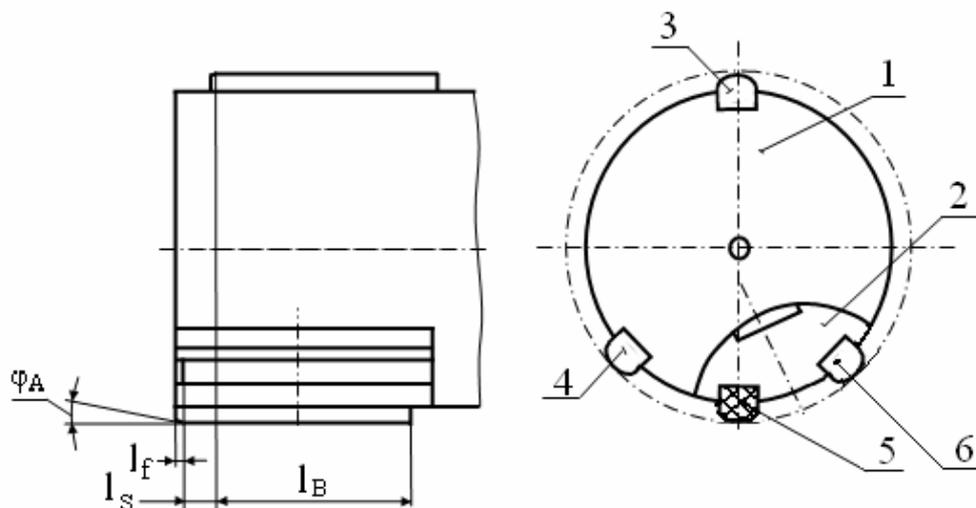


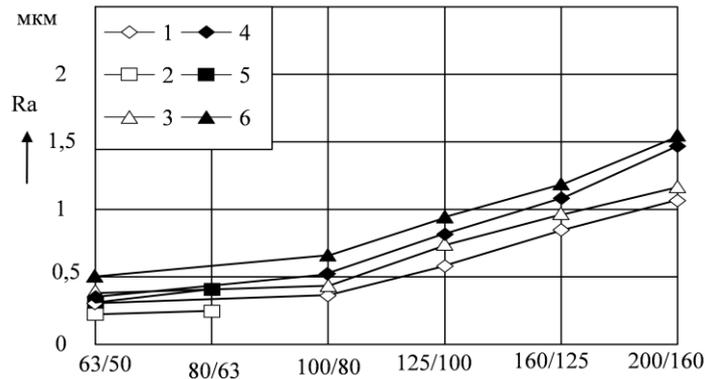
Рисунок 1 – Схема АВР: 1 – корпус АВР, 2 – поворотный блок, 3, 4 и 6 – направляющие элементы, 5 – абразивный элемент; l_f – длиной заходной фаски абразивного элемента, φ_a – угол наклона в плане заходной фаски, l_s – осевое смещение вершины абразивного элемента относительно вершины направляющего элемента, l_B – длина основной рабочей поверхности абразивного элемента.

В результате исследований установлено следующее:

1. При обработке отверстий с припуском 10 мкм в термообработанных стальных заготовках (стали марок ШХ15, 65Г, 20Х с HRC 32 – 36) целесообразно использовать в качестве материала абразивных элементов АЭ-СГАД или АВГП-СГАД зернистостью 100/80 и направляющие элементы из поликристаллических алмазов.

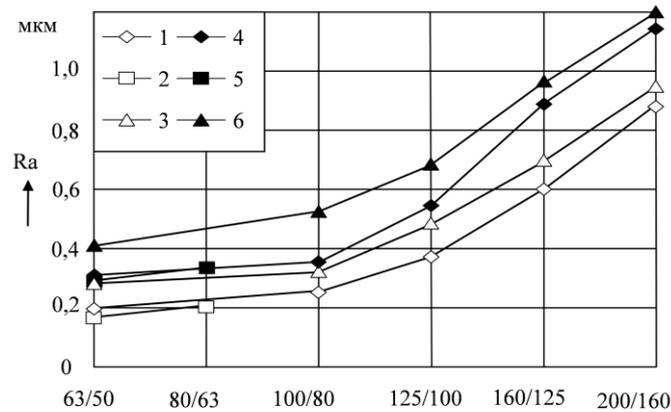
2. Если припуск не больше 8 мкм, наилучшие результаты получены при использовании рабочих элементов АЭ-КР или АВГП-КР с зернистостью 80/63, а также направляющих элементов из поликристаллических алмазов. Несколько худшие результаты получены в случаях применения АВГП-СГАД.

3. Использование направляющих элементов из синтетических алмазов марок АС зернистостью 14/10 с концентрацией 200 % приводит к налипанию мелкой стружки на их рабочих поверхностях при отделочной обработке в случаях, если окружная скорость развертывания V_0 превышает 0,5 м/с. В результате увеличивается шероховатость обработанной поверхности, снижается эффективность последующей размерной обработки, а, в отдельных случаях, последующую размерную обработку вообще невозможно осуществить.



зернистость

а)



зернистость

б)

Рисунок 2 – Влияние зернистости абразивных элементов АВР на средние значения шероховатости поверхности отверстий после размерного этапа – а и отделочного этапа – б обработки: 1 – АЭ-СГАД, 2 – АЭ-КР, 3 – АВГП-СГАД; сталь ШХ15, HRC 58 – 62; $d = 75$ мм, $l = 120$ мм; 4 – АЭ-СГАД, 5 – АЭ-КР, 6 – АВГП-СГАД; сталь 20X, HRC 32 – 36; $d = 40$ мм, $l = 70$ мм; $Z \leq 15$ мкм, $VP = 0,15$ м/с, $SP = 1,2$ мм/об; $VO = 0,6$ м/с, $SO = 0,5$ мм/об.

4. Установлено, что чем выше зернистость АЭ и АВГП, тем выше возможная скорость отделочной обработки, так как с увеличением зернистости «засаливание» режущей поверхности при отделочной обработке легче удаляется в начале последующей размерной обработки. Поэтому АЭ-КР или АВГП-КР с зернистостью 63/50 менее эффективен, чем с зернистостью 80/63, так как в последнем случае при наличии направляющих элементов из поликристаллических алмазов возможна отделочная обработка с более высокой скоростью. Например, при обработке термообработанных стальных заготовок (стали марок ШХ15, 65Г, 20X с HRC 32 – 36) рациональная окружная скорость отделочной обработки находится в диапазоне $VO = 0,5 - 1,2$ м/с (меньшее значение скорости отделочной обработки соответствует большему диаметру

развертываемого отверстия), а при обработке стали 20X с $HV \leq 216$ – находится в диапазоне $V_0 = 0,5 - 1,0$ м/с.

5. Установлено, что окружная скорость размерной обработки АВР почти в два раза меньше, чем рекомендуемые значения для операции хонингования. Это связано с применением меньших скоростей продольного перемещения при абразивно-выглаживающем развертывании. Например, при обработке стальных заготовок (стали марок ШХ15, 65Г, 20X с HRC 32 – 36) рациональная окружная скорость размерной обработки находится в диапазоне $V_P = 0,2 - 0,35$ м/с (меньшее значение скорости отделочной обработки соответствует меньшему диаметру развертываемого отверстия), а при обработке стали 20X с $HV \leq 216$ – находится в диапазоне $V_P = 0,1 - 0,25$ м/с.

6. Выявлено, что при обработке отверстий диаметрами более 50 мм и припуском до 8 мкм более эффективно применение АВР с АВГП-С или АВГП-К, так как в этом случае параметр q выше и поломки рабочих элементов во время входа инструмента в обрабатываемое отверстие практически исключаются. Диапазон рекомендуемых скоростей отделочной обработки при использовании вставок АВГП-С или АВГП-К аналогичен указанным в предыдущем пункте значениям.

7. При обработке отверстий диаметрами 15 – 150 мм в стальных заготовках с припуском в пределах не более 20 мкм целесообразно использовать АВГП-СГАД с зернистостью 200/160, 160/125, 125/100. Причем чем больше припуск, тем большую зернистость необходимо назначать из предложенного диапазона. Для получения в термообработанных стальных заготовках (сталь марок ШХ15, 65Г, 20X с HRC 32 – 36) шероховатости поверхности отверстий менее $Ra \leq 1$ мкм необходимо назначать припуск на обработку 15 мкм и использовать АВГП-СГАД с зернистостью не более 125/100. Наиболее эффективна размерная обработка отверстий АВГП-СГАД с зернистостью 200/160, в том числе, и стали 20X с $HV \leq 216$, но для получения шероховатости поверхности в пределах $Ra = 0,32 - 0,63$ мкм после отделочной обработки необходимо выполнять ее АВГП-КР с зернистостью 80/63. Однако наименьший размах шероховатости поверхности отверстий, гарантированное исключение «засаливания» рабочей поверхности обеспечивается на отделочном этапе с окружными скоростями $V_0 = 0,7 - 1,2$ м/с ($Ra = 0,10 - 0,32$ мкм, материал заготовок – сталь ШХ15, HRC 58 – 62).

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под общ. ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 2. Перпери Л.М. Теоретическое обоснование окончания размерной абразивно-выглаживающей обработки ступенчатых отверстий / Перпери Л.М., Тонконогий В.М., Джугурян Т.Г. // Високі технології в машинобудуванні: НТУ «ХПІ». – 2008. – Вип. 1 (16). – С.227 – 236. 3. Кирсанов С.В. Инструменты для обработки точных отверстий / [Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Кокарев В.И.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 330 с.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ

УДК 621.365.

Б. М. АРПЕНТЬЕВ, д-р техн. наук,
Н. К. РЕЗНИЧЕНКО, д-р техн. наук,
Н. Л. ШЕЛКУНОВА, Харьков, Україна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ СБОРОЧНОГО ЗАЗОРА И ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВОЙ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ

У статті приведені результати визначення величини складальних зазорів і температури деталей в процесі виконання технологічних операцій. Експериментально встановлені додаткові коефіцієнти зміни умов складання залежно від зміни частоти поверхні вживання мастила, що враховують, а так само штучного охолодження деталі в процесі збірки. Відмічена роль Г.Я. Андрєєва і Б.М. Арпентьєва в створенні наукових основ теплового складання.

В статье приведены результаты определения величины сборочных зазоров и температуры деталей в процессе выполнения технологических операций. Экспериментально установлены дополнительные коэффициенты учитывающие изменения условий сборки в зависимости от изменения частоты поверхности применения смазки, а так же искусственного охлаждения детали в процессе сборки. Отмечена роль Г.Я. Андреева и Б.М. Арпентьева в создании научных основ тепловой сборки.

In the article the results of determination of size of frame-clamping gaps and temperature of details are resulted in the process of implementation of technological operations. Additional coefficients are experimentally set taking into account changes of terms of assembling depending on the change of frequency of surface of application of greasing, and similarly artificial cooling of detail in the process of assembling. The role of G.Ya is marked. Andreeva and B.M. Arpent'eva in creation of scientific bases of the thermal assembling.

Введение. Наиболее распространенным методом сборки соединений с натягом по цилиндрическим поверхностям, которые занимают большое место среди всех остальных видов сопряжений, является метод запрессовки.

Он имеет целый ряд недостатков, главным из которых – отсутствие взаимозаменяемости собираемых деталей и нестабильность технологического процесса из-за высокого процента исправимого и неисправимого брака, который является основной причиной, препятствующей созданию производительного сборочного оборудования.

При сборке деталей тепловым методом (с нагревом охватывающей детали) сопрягаемые поверхности не нарушаются и обеспечивается прочность соединения в два-три раза превышая прочность, получаемую при запрессовке.

Кроме того, тепловой метод позволяет перевести сборку соединений с гарантированным натягом в область сборки с гарантированным зазором, что дает возможность осуществлять соединение деталей простым методом на основе взаимозаменяемости, без применения дорогостоящего прессового оборудования [1,2].

Среди работ, посвященных сборке соединений с натягом при использовании метода теплового воздействия, следует отметить основополагающие исследования профессора Андреева Г.Я., как в области прочности тепловых сопряжений, так и в создании индукционно – нагревательных устройств и сборочного оборудования. [4]

Постановка задачи. В зависимости от условий сборки и параметров собираемых деталей определить минимально допустимую величину теплового зазора и температуру нагрева охватывающей детали.

Изложение основного материала. Характерной особенностью технологического процесса сборки с использованием теплового воздействия является его сложная структура, связанная с необходимостью манипулирования с горячей деталью. При этом выполнение соответствующих операций сопровождается специфическими требованиями: максимальными сокращениями потерь тепловой энергии от теплоотдачи в окружающую среду и механизмами сборочного устройства.

Остывание детали в течение цикла сборки может привести к уменьшению сборочного зазора ниже допустимой величины, в результате чего сборка или совсем не осуществится, или будет идти с повреждением посадочных поверхностей, а также произойдет преждевременное скрепление деталей. Перегрев деталей перед началом сборочного цикла, обеспечивающий наличие большого сборочного зазора, в большинстве случаев недопустим из-за возможных изменений физико-механических свойств материала и, кроме того, он не выгоден экономически.

Длительность цикла и, следовательно, производительность сборочного станка, как правило, определяются длительностью операции нагрева охватывающей детали (если нагреватель встроен в кинематическую схему станка) и операции скрепления.

При технологическом процессе с частичным совмещением цикловых операций, когда группа операций с охватываемой деталью совмещается с

группой операций выполняемой с охватывающей деталью, необходимым условием является соблюдение зависимости:

$$\sum \tau_n > \sum \tau_x, \quad (1)$$

где $\sum \tau_n$ - сумма времени, идущего на выполнение операций с нагретой охватывающей деталью; $\sum \tau_x$ - сумма времени, идущего на выполнение операций с охватываемой деталью.

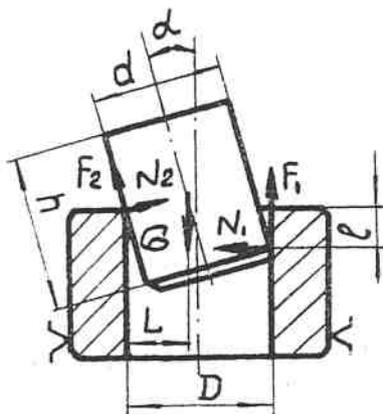


Рисунок 1 – Схема вертикальной сборки вала с втулкой

В этом случае мы избегаем потерь тепла, которые могли бы произойти в результате ожидания нагретой детали сборочной операции.

Свободное соединение деталей при тепловом методе обеспечивается наличием теплового сборочного зазора. Его величине определяется условиями обеспечения собираемости узла на данной сборочной машине. Однако сборочный зазор (i) не может быть больше некоторого i_{\max} и меньше i_{\min} .

$$\left. \begin{aligned} i_{\min, c} \leq i \leq i_{\max, c} \\ i_{\min, T} \leq i \leq i_{\max, T} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Максимально возможный сборочный зазор равен

$$i_{\min} = \Delta D_{\max} - \delta_{\max} - \Delta D_o \quad (3)$$

где ΔD_{\max} - начальное тепловое расширение посадочного отверстия, получаемое при нагреве детали до максимально допустимой температуры; δ_{\max} - максимальный натяг в соединении; ΔD_o - величина уменьшения начального теплового расширения в результате остывания втулки.

Величина $i_{\min,c}$ определяется из силового расчета при заклинивании цилиндрических деталей.

Заклинивание может произойти как при вертикальной сборке вала с втулкой (рис.1), так и при горизонтальной, если вал вставляется во втулку, или втулка насаживается на вал. Рассмотрим сборку по схеме (рис. 1), осуществляемую под действием веса вала (G).

Условия незаклинивания:

$$GL \geq F_1 D - N_1 l.$$

Решая задачу равновесия вала, находим зависимость для определения $i_{\min,c}$.

$$i_{\min,c} \geq \sin^2 \alpha \cos \alpha \left[\frac{d}{2} (1 - f^2) + hf \right] + \frac{h}{2} \sin^3 \alpha (1 - f^2) - d (1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

где f - коэффициент трения.

Зазор $i_{\min,T}$ зависит от скорости охлаждения охватываемой детали в процессе ее сборки с охватываемой деталью. Он может быть найден путем исследования физической стороны процесса теплового скрепления деталей в узел [3].

Для расчета $i_{\min,T}$ при условии "несхватывания" деталей в течение процесса их соединения (3-5 сек), используя подстановку

$$\Delta T = \frac{1}{\alpha_{em} D} (\delta_{\max} + i),$$

получаем формулу из зависимости:

$$\tau_{cx} = \frac{1}{aSA} \ln \frac{\Delta T}{\Delta T - \frac{A}{B} i} \quad (5)$$

где, S - площадь посадочной поверхности, через которую втулка передает тепло валу; C_{em} и C_e - удельная теплоемкость втулки и вала соответственно; α_{em} и α_e - коэффициенты линейного расширения материалов втулки и вала соответственно; T_{em} и T_e - температура втулки и вала соответственно; m_{em} - масса втулки; m_e - масса вала, находящаяся под посадочной поверхностью; a - коэффициент теплообмена между втулкой и валом.

Тогда,

$$i_{\min,T} = \delta_{\max} \frac{B(e^{aSA\tau} - 1)}{\alpha_{em} D A e^{aSA\tau}}, \quad (6)$$

Здесь $a=180-200 \frac{\text{ккал}}{\text{мм}^2 \text{сек}^0 \text{С}}$.

По значению $i_{\text{min, T}}$ определяется допустимая температура, которую должна иметь втулка перед соединением с валом.

Для проверки принятых схем расчета и уточнения полученных зависимостей экспериментально исследовались температурные поля и деформации вала и втулки в процессе их нагрева и охлаждения.

Основная часть экспериментов была выполнена на гладких цилиндрических втулках с посадочным диаметром 100 мм, длиной 100 мм, толщиной стенки 10, 20, 30 и 40 мм и валами длиной 300мм. Материал валов ст.5, втулок – ст.20, чугун СЧ 18-36, бронза Бр0ЦС 5-5-5 и алюминиевый сплав АМг6Т. Кроме того, эксперименты проводились на соединениях с посадочным диаметром 50, 75 и 200 мм и с фасонными охватывающими деталями. Температуры измеряли с помощью хромель – копелевых термопар 0,5 мм, установленных в сверлениях валов и втулок и приваренных конденсаторной сваркой. В качестве регистрирующих приборов использовались самопишущие электронные потенциометры ЭПП-09. Размеры деталей измеряли механическими приборами с точностью 2 микрон.

Результаты экспериментов свидетельствуют о правильности принятых схем расчета $\tau_{\text{сх}}$, a .

Экспериментально подтверждены теоретические зависимости (5,6) и получены коэффициенты, учитывающие изменение условий сборки.

Так, наличие неравномерного температурного поля в охватывающих деталях, имеющих диск, учитывается коэффициентом R_n . Деталь, имеющая ступицу, более прогретую, чем диск, скрепляется с валом быстрее, чем деталь с равномерным температурным полем, так как тепло из ступицы отводится не только в вал, но и в диск. В зависимости от неравномерности прогрева детали значение R_n . меняется от 0,95 до 0,85.

Увеличение чистоты посадочных поверхностей и отсутствие смазки на валу приводит к удлинению процесса скрепления. Поправочный коэффициент $R_q=1,1$ вводится при повышенной шероховатость поверхности деталей ($R_a =0,63$, $R_a =0,32$).

Отсутствие смазки вала учитывается коэффициентом $R_{\text{нс}}$. Для сборочных зазоров до 0,0015D $R_{\text{нс}}=1,2$, для зазоров свыше 0,0015 D $R_{\text{нс}}=1,05$.

Таким образом, формула (5) приобретает вид

$$\tau_{cx} = \frac{R_n R_q R_{nc}}{aSA} \ln \frac{\Delta T}{\Delta T - \frac{A}{B} i} \quad (7)$$

Для определения эффективности искусственного охлаждения деталей при скреплении их в узел были проведены экспериментальные исследования, во время которых производилось охлаждение воздухом, а также водным раствором нитрита натрия, по данным некоторых авторов, является хорошим замедлителем коррозии, поэтому он и был выбран для исследований.

В серии опытов с охлаждением воздухом обдув горячей детали производился через трубку сечением 1,5 см² при давлении 2,5 атм. Охлаждение водным раствором нитрита натрия осуществлялось с помощью дождевальной установки.

Как показали исследования, охлаждение воздухом приводит к ускорению процесса скрепления на 20-25%, а омывание водным раствором ускоряет его в несколько раз.

Однако повышение расхода охлаждающей жидкости оправдывает себя до определенного предела, после которого τ_{cx} существенно не уменьшается.

Выводы.

Предложен метод расчета теплового сборочного зазора, позволивший определить его минимально допустимую величину в зависимости от условий сборки и параметров собираемых деталей.

По величине зазора рассчитывается температура нагрева охлаждаемой детали.

Определено влияние естественного и искусственного охлаждения на время протекания процесса скрепления деталей в узлы.

Список литературы: 1. *Арпентьев Б.М.* Исследование тепловой сборки деталей с гарантированным зазором. – Воронежский политехнический институт. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 1969, 185 с. 2. *Резниченко Н.К.* «Якість та енергозбереження в процесах складання та розбирання з'єднань індукційним нагрівом: Монографія. Горлівка: «Видавництво Ліхтар». 2009.-180с. 3. *Арпентьев Б.М.* Определение теплового зазора при автоматической сборке соединений с натягом. Киев: Технология и организация производства, №3/1968.-с.15-21. 4. *Андреев А.Г., Резниченко Н.К.* Напряженно-деформированное состояние составных осесимметричных конструкций, собираемых с натягом при использовании нагрева. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ «ХПІ». -2005.-№47. -С. 3-8.