

изменения во времени температуры и напряжений в произвольной точке окружности в зависимости от размеров пластинки, из которых можно сделать вывод, что напряжения и температуры в произвольной точке внутреннего контура растут при уменьшении размеров пластинки.

Результаты определения перемещений, напряжений и температурных полей сравнивались с результатами расчетов, полученных с помощью программного комплекса ANSYS Workbench, построенного на базе метода конечных элементов. Результаты сравнения температурных полей методами граничных интегральных уравнений и конечных элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения температур на внутреннем контуре пластинки

Время, с	10	20	30	40	50	100	155	200	300
Результаты МГИУ	31	27,6	25,3	25	24	23,5	22,9	22,2	22
Результаты МКЭ	30,4	26,2	25	24,5	24	23,2	22,8	22,7	22,5

Заключение. Разработан алгоритм решения несвязанных нестационарных задач термоупругости методом граничных интегральных уравнений. Достоверность формул и точность алгоритма подтверждается решением ряда тестовых задач. Рассмотрены случаи, решение которых можно провести аналитическими методами. Результаты сравнивались с результатами [4] и решениями, полученными с помощью программного комплекса ANSYS. Точность численного решения высока для внутренних точек и удовлетворительна

для точек, примыкающих к границе области. Получены зависимости изменения температуры и напряжений как функции времени и координат. Основными преимуществами применяемого метода по сравнению с другими существующими является необходимость дискретизации только границы области, при этом сохраняется высокая точность решения при уменьшении затрат машинного времени. Небольшие затраты машинного времени для решения поставленной задачи методом ГИУ подтверждают эффективность метода по сравнению с другими численными методами.

В дальнейшем предполагается развить разработанное решение на исследование пространственных тел, нагруженных механическими усилиями и нестационарными температурными воздействиями.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. - М.: Высшая школа, 1967 г. - 599 с.
2. Мюнтц, Г.М. Интегральные уравнения / Г.М. Мюнтц. - М.: ГТТИ, 1934.
3. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. - М.: Наука, 1966 г. - 735 с.
4. Коваленко, А.Д. Основы термоупругости / А.Д. Коваленко. - Киев: Наукова думка, 1970. - 239 с.
5. Веремейчик, А.И. Граничные интегральные уравнения двумерных нестационарных краевых задач несвязанной термоупругости // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической механике: сб. научн. трудов / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Ю.В. Василевич [и др.]. - Минск: УП "Технопринт", 2001. - С. 99-103.

Материал поступил в редакцию 22.09.08

VEREMEJCHIK A.I., HVISEVICH V.M. METHOD OF THE BOUNDARY INTEGRATED EQUATIONS IN NESTATIONAR THERMOELASTIC PROBLEMS OF MECHANICS OF A HARD BODY

Features of realisation of the method of the boundary integrated equations for the decision of untied non-stationary problems of thermoelasticity of homogeneous isotropic bodies are considered. On - harmonous algorithm of the decision of a task in view its numerical realisation on IBM also is spent. For an estimation of accuracy of the developed algorithm the decision of test problems is passed.

УДК621.91.002

Медведев О.А., Ковальчук П.Н

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МАШИН МЕТОДОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕПОДВИЖНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Введение и задачи исследования. Метод регулирования широко используется для достижения высокой точности замыкающих звеньев длинных конструкторских сборочных размерных цепей машин в серийном и массовом производстве при экономически выгодных допусках составляющих звеньев и основан на быстром целенаправленном изменении величины одного из составляющих звеньев - компенсатора.

В случае использования неподвижного компенсатора, изменение его размера осуществляется ступенчато, путём выбора и установки в изделие при окончательной сборке одного компенсатора определённого размера из заранее изготовленного комплекта или установкой определённого числа одинаковых тонких компенсаторов.

Неподвижные компенсаторы применяются в случае, если конструктивно невозможно применить более сложный, громоздкий и дорогой подвижный компенсатор.

Использование неподвижных компенсаторов основано на известном положении о том, что, используя компенсатор определённого размера, можно компенсировать за счет допуска замыкающего

звена лишь часть суммарного допуска составляющих звеньев, равную (в идеальном случае) допуску замыкающего звена. Увеличив компенсатор на величину допуска замыкающего звена, можно компенсировать еще такую же часть, примыкающую к первой, и так далее. В идеале ступень компенсации (разность размеров соседних компенсаторов в комплекте) равна допуску замыкающего звена, а число компенсаторов равно отношению суммарного допуска составляющих звеньев к допуску замыкающего звена. В действительности ступень компенсации должна быть меньше из-за наличия погрешностей изготовления компенсаторов и погрешности определения требуемого размера компенсатора.

Размер требуемого в конкретном изделии компенсатора, как правило, определяется в результате предварительной сборки изделия (без компенсатора и с эталоном на месте замыкающего звена) и измерения местоположения компенсатора. При окончательной сборке используют компенсатор из комплекта, с размером, ближайшим к измеренному значению. Требуемое количество одинаковых тонких компенсаторов определяется делением найденного при измерении

Медведев Олег Анатольевич, к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Ковальчук Павел Николаевич, магистрант кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267.

размера на размер одного компенсатора.

Анализ способов расчета размерных цепей, используемых при достижении точности сборки методом регулирования, и описанных в технической и учебной литературе [1, 2, 3 и др.], позволил выявить их существенные недостатки:

- Не выявляются рациональные схемы определения величины компенсации с целью минимизации числа компенсаторов;
- В величину компенсации кроме допусков составляющих звеньев конструкторской размерной цепи включаются погрешности технологической оснастки, которые не формируют поле рассеивания местоположения компенсатора при окончательной сборке, и не могут компенсироваться выбором компенсатора, так как влияют на этот выбор и могут иметь разные значения при сборке одного изделия. Такой подход ведет к неоправданному завышению величины компенсации и числа компенсаторов. Эти погрешности влияют на выбор компенсатора и формируемое поле рассеивания замыкающего звена;
- Допуск компенсатора назначается без учета других погрешностей формирования его размера, и, следовательно, не гарантируется точность сборки при рассчитанных параметрах компенсаторов;
- При использовании тонких компенсаторов не учитывается тот факт, что допуск набора из нескольких компенсаторов больше допуска одного компенсатора.

С учетом сказанного можно сделать вывод о недостаточной надежности используемых методик и необходимости их уточнения, что позволит обосновать требования к точности сборочных работ и оснастки, а так же к комплекту компенсаторов.

Схемы компенсации допусков составляющих звеньев. В основе предлагаемой методики лежат схемы компенсации суммарного допуска составляющих звеньев конструкторской сборочной размерной цепи, представляющие собой сочетание конструкторской и технологической сборочных размерных цепей. Реальная конструкторская цепь представлена в схеме компенсации математически тождественной трехзвенной цепью, состоящей из суммарного составляющего звена A_{Σ} , компенсатора K и замыкающего звена A_{Δ} . Суммарное составляющее звено является алгебраической суммой всех увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев реальной цепи (кроме компенсатора), а его допуск TA_{Σ} равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев (кроме компенсатора). При этом все многообразие реальных конструкторских цепей может быть сведено к трем вариантам математически тождественных трехзвенных цепей, отличающихся по влиянию компенсатора на замыкающее звено (уменьшающий или увеличивающий компенсатор), и по расположению увеличивающего компенсатора в одной ветви цепи с суммарным составляющим звеном или в разных ветвях. В схеме компенсации каждое звено трехзвенной цепи представлено его предельными размерами и полем допуска.

Технологическая сборочная размерная цепь формируется на этапе предварительной сборки изделия, когда определяется требуемый размер компенсатора. Замыкающим звеном в ней является местоположение компенсатора, а составляющими звеньями, кроме размеров деталей изделия, также являются размеры используемой сборочной оснастки и погрешности выполнения сборочных работ. При окончательной сборке изделия из комплектующих деталей и выбранного компенсатора, отклонение замыкающего звена конструкторской цепи от эталона будет равно отклонению размера выбранного компенсатора от размера его местоположения. Это отклонение складывается из отклонений тех звеньев технологической цепи, которые при предварительной сборке конкретного изделия могут приобретать случайные значения, отличающиеся от их значений в конструкторской цепи (погрешность изготовления эталона среднего замыкающего звена ϵ_{Σ} , погрешность установки эталона ϵ_{y3} , погрешность измерения местоположения компенсатора $\epsilon_{и}$, погрешность изготовления компенсаторов TK , погрешность выбора компенсатора $\epsilon_{в}$). Погрешности таких звеньев могут быть компенсированы только за счет допуска замыкающего звена конструкторской цепи, а не выбором компенсатора. Технологическая

цепь представлена в схеме компенсации указанными погрешностями, которые в сумме не должны превышать допуска замыкающего звена конструкторской цепи TA_{Δ} . Принимая допущение о симметричном распределении суммарной погрешности, совмещаем середину ее поля рассеивания с серединой поля допуска замыкающего звена конструкторской цепи. Средние размеры компенсаторов разных ступеней должны связывать эту середину с серединами соответствующих ступеней компенсации в пределах поля допуска суммарного составляющего звена. Схемы компенсации, построенные по указанным правилам для случая использования комплекта компенсаторов разной длины, приведены на рис.1 и 2. На схемах сумма ϵ_{Σ} , ϵ_{y3} , $\epsilon_{и}$ обозначена как погрешность формирования размера компенсатора $\epsilon_{рк}$.

Замыкающее звено A_{Δ} окажется в пределах заданного допуска, если при выборе компенсатора соответствующей ступени будет выдержано условие

$$TA_{\Delta} \geq \epsilon_{\Sigma} + \epsilon_{y3} + \epsilon_{и} + \epsilon_{в} + TK. \quad (1)$$

Максимальное значение погрешности выбора компенсатора равно разности между средними размерами соседних компенсаторов в комплекте, то есть ступени компенсации c . С такой погрешностью измеренное значение компенсатора воспроизводится на выбранном компенсаторе в самом неблагоприятном случае. Для сокращения числа компенсаторов в комплекте следует принять максимально допустимое значение c , при котором условие (1) превращается в равенство. Тогда

$$c = TA_{\Delta} - \epsilon_{\Sigma} - \epsilon_{y3} - \epsilon_{и} - TK. \quad (2)$$

Число ступеней компенсации (компенсаторов разной длины в комплекте) следует определять по формуле:

$$N = TA_{\Sigma} / (TA_{\Delta} - \epsilon_{\Sigma} - \epsilon_{y3} - \epsilon_{и} - TK). \quad (3)$$

Значение допусков составляющих звеньев конструкторской и технологической цепей следует выбирать так, чтобы значение N получалось целым.

Выражения (2) и (3) раскрывают взаимосвязь между требуемой точностью сборки, точностью применяемой сборочной оснастки, точностью изготовления компенсаторов и числом компенсаторов в комплекте. Они могут использоваться для проверки приемлемости выбираемой оснастки по точности.

Схема компенсации, принятая для случая использования комплекта уменьшающих компенсаторов разной длины, предопределяет средний размер компенсатора первой ступени

$$\overleftarrow{K}_{1cp} = -A_{\Delta cp} + \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_{i\min} - \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A}_{i\max} + \frac{c}{2}, \quad (4)$$

где $A_{\Delta cp}$ - среднее значение замыкающего звена конструкторской цепи; n и m число увеличивающих и уменьшающих звеньев конструкторской цепи соответственно; $\overrightarrow{A}_{i\min}$ - минимальное значение i -го увеличивающего звена; $\overleftarrow{A}_{i\max}$ - максимальное значение i -го уменьшающего звена.

Средний размер увеличивающего компенсатора первой ступени, находящегося в одной ветви трехзвенной тождественной цепи с A_{Σ}

$$\overrightarrow{K}_{1cp} = A_{\Delta cp} - \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_{i\max} + \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A}_{i\min} + \frac{c}{2}. \quad (5)$$

Средний размер увеличивающего компенсатора первой ступени, находящегося не в одной ветви с A_{Σ}

$$\overrightarrow{K}_{1cp} = A_{\Delta cp} + \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_{i\min} + \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A}_{i\max} + \frac{c}{2}. \quad (6)$$

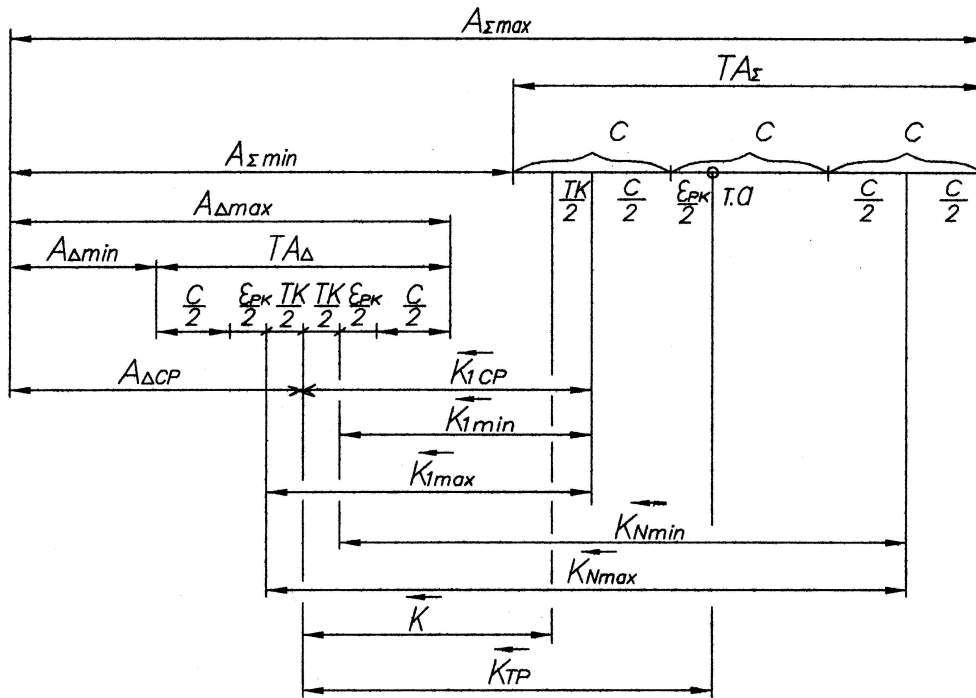


Рис. 1. Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом неподвижных уменьшающих компенсаторов разной длины

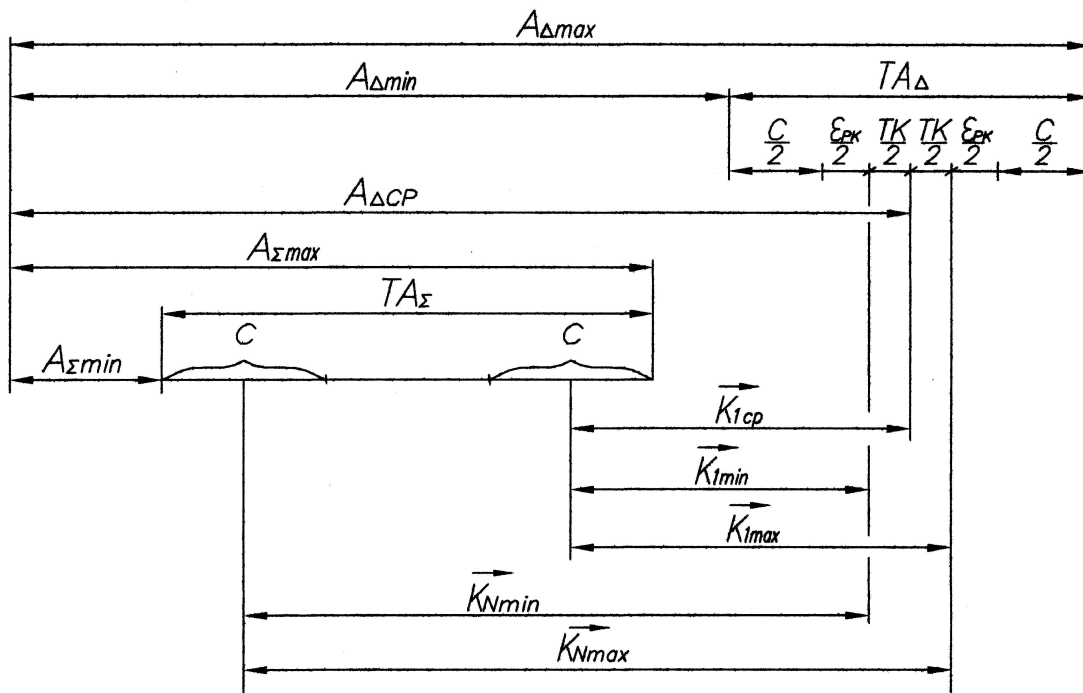


Рис. 2. Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектом неподвижных увеличивающих компенсаторов разной длины

Средний размер компенсатора N-ой ступени для всех вариантов схем компенсации

$$K_{Ncp} = K_{tcp} + (N - 1) \cdot c \quad (7)$$

Достижение точности замыкающего звена, при использовании комплекта тонких неподвижных компенсаторов одинаковой толщины, основано на аналогичных принципах, но требует рассмотрения ряда особенностей, не учитываемых в традиционных методиках расчета.

Для уменьшения требуемого числа компенсаторов целесообразно обеспечить частичное перекрытие TA_{Δ} и TA_{Σ} . Это всегда можно сделать путем корректировки положения поля допуска хотя

бы одного из составляющих звеньев конструкторской цепи. При этом число компенсаторов в комплекте на одно изделие будет на единицу меньше числа ступеней компенсации. Для того чтобы набор компенсаторов при любом их числе оставался уменьшающим или увеличивающим, надо середину TA_{Δ} совместить с серединой первой ступени компенсации.

Так как ступень компенсации равна средней толщине одного компенсатора (обычно не менее 0,1мм), то эта толщина, наряду с погрешностями сборочной оснастки и допуском изготовления компенсаторов, определяет точность сборки.

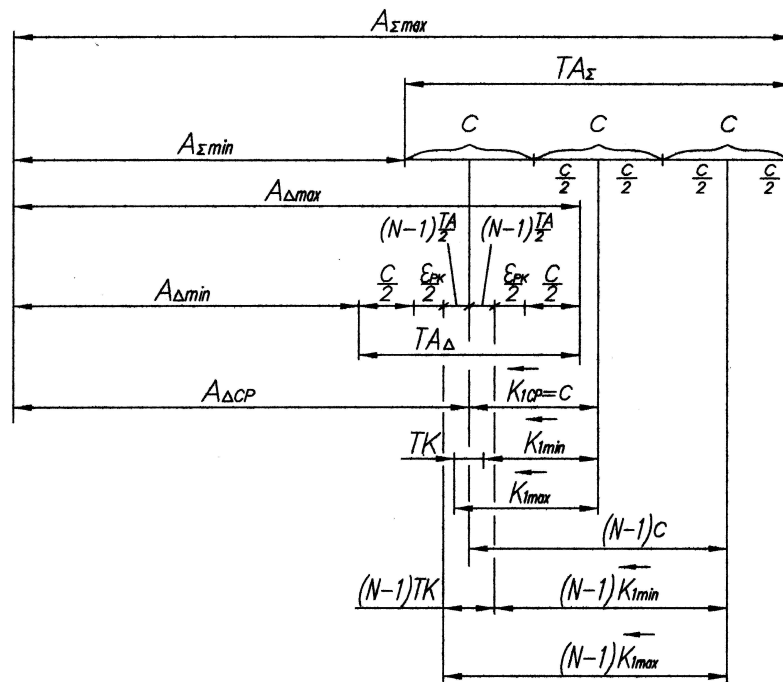


Рис. 3. Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектom одинаковых тонких уменьшающих компенсаторов

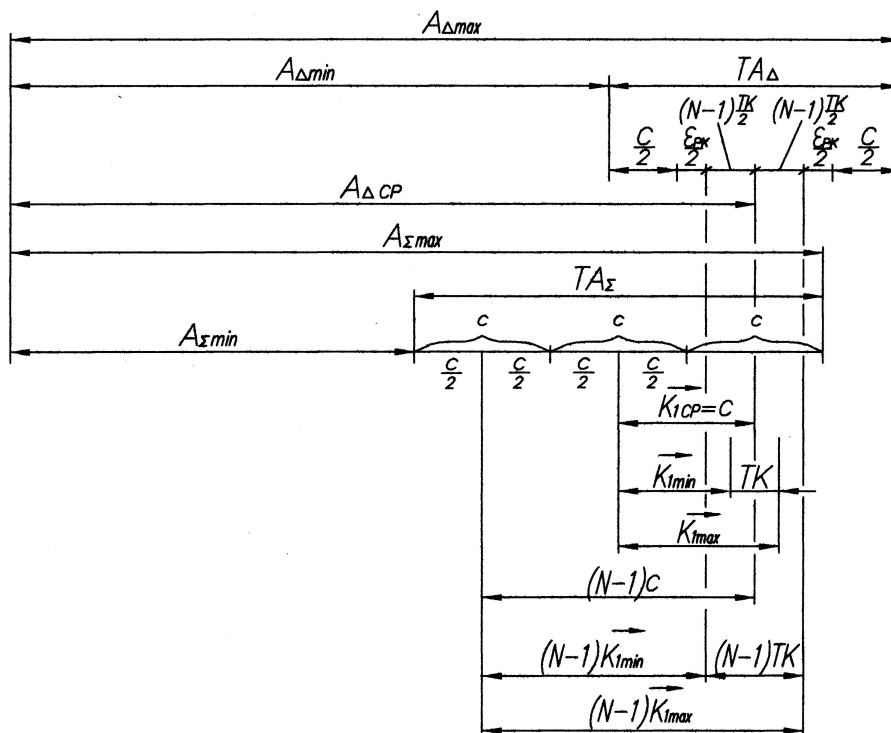


Рис. 4. Схема компенсации допусков составляющих звеньев регулированием комплектom одинаковых тонких увеличивающих компенсаторов

При одинаковых прочих погрешностях допуск тонкого компенсатора должен быть значительно жестче допуска компенсаторов разной длины, так как набор из $N-1$ тонкого компенсатора, необходимый для компенсации отклонений A_{Σ} в пределах N -ой ступени компенсации, должен иметь суммарный допуск $(N-1)TK$ равный допуску одного компенсатора из комплекта компенсаторов разной длины.

Схемы компенсации, учитывающие эти особенности, приведены на рис.3 и 4 для уменьшающего и увеличивающего звена, соответственно. Условие достижения точности сборки при любом (в пределах $N-1$) числе компенсаторов в наборе примет вид

$$TA_{\Delta} \geq \epsilon_{PK} + c + (N-1) \cdot TK. \quad (8)$$

Подставив в (8) $N = TA_{\Sigma} / c$, после преобразований получим квадратное уравнение для расчета значения ступени компенсации (9) и его решение (10)

$$c^2 + (\epsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK) \cdot c + TK \cdot TA_{\Sigma} = 0, \quad (9)$$

$$c_{1,2} = -\frac{\epsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_{PK} - TA_{\Delta} - TK}{2}\right)^2 - TK \cdot TA_{\Sigma}}. \quad (10)$$

Решение возможно при положительной величине под корнем. В противном случае следует корректировать ее составляющие. Для дальнейших расчетов следует принимать то из решений, которое больше 0,1мм. Если такого решения нет, то следует принять более точную сборочную оснастку или компенсаторы, и повторить расчеты.

Условия выбора точности оснастки. Чтобы снизить трудоемкость определения рациональных параметров точности сборочной оснастки, при которых возможно решение уравнения (9), установим взаимосвязь между $\epsilon_{рк}$ и c . Для достоверного определения числа тонких компенсаторов, суммарная толщина которых наиболее близка к размеру их местоположения, достаточно ограничить допустимое поле рассеяния последнего величиной ступени компенсации. Тогда максимально допустимое значение $\epsilon_{рк}$ с учетом рекомендаций [1] и ГОСТ 8.051-81, регламентирующего допустимые погрешности измерений, при допусках контролируемых параметров по 9...12 квалитетам, можно принять $\epsilon_{рк\max} = 0,2c$ или $c = 5\epsilon_{рк\max}$. Подставив последнее выражение в (9), после преобразований получим

$$\epsilon_{рк\max}^2 - \frac{TA_{\Delta} + TK}{12} \cdot \epsilon_{рк\max} + \frac{TK \cdot TA_{\Sigma}}{30} = 0, \quad (11)$$

$$\epsilon_{рк\max 1,2} = \frac{TA_{\Delta} \cdot TK}{12} \pm \sqrt{\left(\frac{TA_{\Delta} + TK}{12}\right)^2 - \frac{TK \cdot TA_{\Delta}}{30}}. \quad (12)$$

Приравняв нулю подкоренное выражение, определим максимальное значение допуска компенсатора, при котором еще возможно решение (12)

$$TK_{\max 1,2} = \frac{72}{30} \cdot TA_{\Sigma} - TA_{\Delta} \pm \sqrt{\left(\frac{72}{30} \cdot TA_{\Sigma} - TA_{\Delta}\right)^2 - TA_{\Delta}^2}. \quad (13)$$

В дальнейшем корректируют TA_{Σ} , добиваясь целого значения N и соблюдения условия (8) с небольшим запасом точности.

MEDVEDEV O.A., KOVALCHUK P.N. SUBSTANTIATION OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT CHOICE FOR ACHIEVEMENT OF ASSEMBLY MACHINES ACCURACY BY THE METHOD OF MOTIONLESS EQUALISERS REGULATION

The purpose of the given work is the statement of the systematized choice technique of the assembly equipment accuracy parameters used at a method of regulation. This technique founded on the analysis and the decision of assembly design and technological dimensional circuits. Rational indemnification schemes of the making parts expanded admissions and calculation of number and the sizes of equalizers are offered.

УДК 620.004.5

Драган А.В., Саливончик Ю.Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗУБЧАТЫХ ПРИВОДОВ

Введение. Проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции, использующей зубчатые приводы, были и остаются актуальными в современном машиностроении. Это объясняется постоянным повышением производительности и снижением металлоемкости машин, что накладывает дополнительные требования к совершенству зубчатых передач. Кроме того, наряду с качеством изготовления и монтажа, целый ряд общеизвестных специфических особенностей зубчатых передач приводит к росту динамических нагрузок, ухудшению их технического состояния и эксплуатационных характеристик механизмов в целом. Эффективные методы диагностики и мониторинга механических систем, активно развивающиеся в последние годы, способны предоставить ценную информацию о состоянии привода даже в процессе его эксплуатации и спрогнозировать тем самым его работоспособность. Наибольшее распространение получили методы, использующие в качестве исходных данных виброакустические сигналы, несущие

в себе всю необходимую информацию.

Увязка предельных размеров суммарного составляющего звена с полем допуска замыкающего звена конструкторской цепи производится по следующим уравнениям:

$$\text{Для уменьшающего компенсатора} \\ A_{\Sigma\min} = A_{\Delta\text{ср}} - c/2. \quad (14)$$

$$\text{Для увеличивающего компенсатора} \\ A_{\Sigma\max} = A_{\Delta\text{ср}} + c/2. \quad (15)$$

Выполнив указанные корректировки можно обеспечить все условия, необходимые для использования тонких неподвижных компенсаторов.

Заключение. Изложенная методика апробирована в ходе выполнения студентами специальности «Технология машиностроения» курсовых и дипломных проектов. В отличие от традиционных методик она позволяет избежать необоснованно высоких требований к точности сборочной оснастки, обоснованно сократить число компенсаторов в комплекте на одно изделие, уменьшить вероятность брака, и сократить себестоимость сборки. Данная методика может быть полезна инженерам-технологам, занимающимся проектированием техпроцессов сборки машин.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Палей М.А. и др. Допуски и посадки: Справочник в 2 ч. ч.2.-СПб.: Политехника, 2001. - 608с.
2. Проектирование технологических процессов сборки машин: Учебник / Под общ. ред. А.А. Жолобова.- Мн.: Новое знание, 2005. - 410с.
3. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 480с.

Материал поступил в редакцию 10.10.08

Драган Александр Вячеславович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Саливончик Юрий Николаевич, ст. преподаватель кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, г. Брест, ул. Московская, 267.