

(и соответствующих им скоростей резания) были скорректированы с учетом поправочного коэффициента ($K_p = 0,75$, см.: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М. : ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.) для обеспечения заданной надежности ($p = 0,99$):

$$n_p = n \cdot K_p. \quad (6)$$

Данные для расчета режимов резания и полученные результаты, а также количество принятых деталей до регламентированной замены инструментов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 4

№ перех	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{шт}$
1	1	0,25	45	2,45	180	441	3,21	3,6	5
2				1,44	282	406	3,49	3,91	
3	2	0,4	15	0,12	2050	246	2,03	2,19	10
4	3	0,25	15	0,2	820	164	1,82	1,85	10
5	4	0,25	30	0,1	1120	112	0,53	1,21	50
6	5	0,25	15	0,1	1410	141	0,14	0,71	50
Итого							11,22	13,47	

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 13,47 \cdot (1 + 30/100) = 17,51 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,95 / 17,51 = 26 \text{ [деталей]},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери времени (примем $K = 0,95$ с учетом повышения надежности работы комплекта инструментов за счет уменьшения вероятности случайных отказов инструмента).

В результате расчета произойдет снижение скоростей резания и производительности (за смену относительно предыдущего варианта расчета на 26 %), но при этом увеличится надежность работы каждого инструмента и комплекта инструментов в целом, что необходимо при условии работы станка без участия оператора и для обеспечения регламентированной замены инструментов.

При необходимости для сокращения затрат вспомогательного времени на операцию возможно дублирование лимитирующих инструментов в магазине станка, использование сменных столов и т. д.

Также данный расчет позволяет более точно прогнозировать расход инструмента и, соответственно, производить более обоснованный его заказ.

Рассмотренные примеры расчета режимов обработки для различных производственных ситуаций и условий производства подтверждают возможность повышения эффективности работы комплекта инструментов посредством оптимизации режимов обработки и рационального выбора инструмента.

D. S. Pahomov, PhD in Engineering, Nizhniy Novgorod State Technical University

A. B. Chuvakov, PhD in Engineering, Pavlovo branch of Nizhniy Novgorod State Technical University

Increasing the Efficiency of CNC Machining

Method of increasing the efficiency of CNC machining was proposed. The method is based on competent set of tools selection and optimum cutting conditions choice.

Key words: efficiency, optimization, productivity, reliability.

УДК 621.88.084

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Е. С. Чухланцев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЛИКОНТАКТНОГО НЕРАВНОЖЕСТКОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ

Экспериментально определена нагрузочная способность поликонтактных неравножестких соединений с натягом (ПКНС). Рассмотрены факторы, влияющие на величину нагрузочной способности ПКНС. Получена графическая зависимость величины нагрузочной способности от относительного положения деталей ПКНС.

Ключевые слова: соединения с натягом, нагрузочная способность, поликонтактные неравножесткие соединения с натягом.

Две серии экспериментов позволяют оценить влияние конструктивных параметров на нагрузочную способность (сопротивление осевому сдвигу) ПКНС. Прочность соединения в рамках

натурного эксперимента определяется путем измерения силы при распрессовке в посадке 1 (внешняя деталь – промежуточная деталь) и в посадке 2 (промежуточная деталь – внутренняя деталь), а также

вычисления контактных давлений. В заключение проводится сравнение данных вычислительного и натурального экспериментов по исследованию поликонтактных неравножестких соединений с натягом (рис. 1).

В зависимости от схемы конструктивного исполнения ПКНС может быть собрано с натягом или по переходной посадке, при этом натяг изменяется от $N_{\min} = 0$ (переходная посадка) до предельного значения N_{\max} , ограниченного физико-механическими свойствами материала деталей $\sigma_i = \sigma_T$.

Эксплуатация соединения в механизмах перекося [1] требует поворота деталей по абсолютному и относительному значениям, изменяющимся в пределах $0 \dots 360^\circ$ и более.

Для серии экспериментов по определению нагрузочной способности в зависимости от относительного положения сопрягаемых деталей соединения принято два варьируемых фактора: величины натягов зон посадок ПКНС и величины относительного поворота деталей соединения. Факторы регулировались минимальными и максимальными допустимыми значениями упругих деформаций для каждой из контактных зон. Такие параметры соединений, как длины деталей, диаметр внутренней детали, оставались детерминированными.

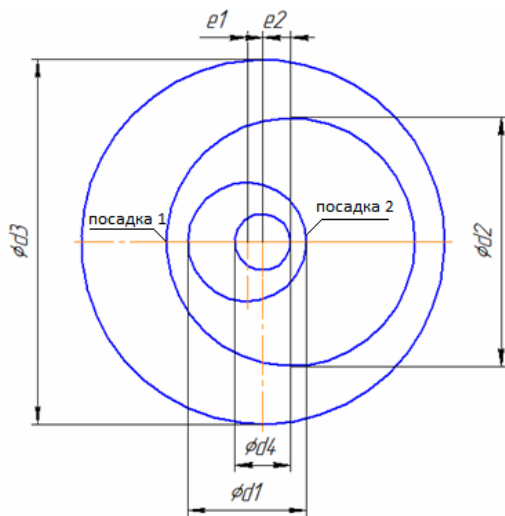


Рис. 1. Поликонтактное неравножесткое соединение с натягом: d_1 – диаметр внутреннего эксцентрика (вала); d_2 – диаметр промежуточного эксцентрика (промежуточная втулка); d_3 – диаметр наружного эксцентрика (втулка); d_4 – диаметр отверстия внутреннего эксцентрика (втулки); $e_1 \neq e_2$ – величина эксцентриситета внутреннего и промежуточного эксцентриков

Использование математических методов планирования и статистической обработки их результатов предполагается на всех этапах исследования для рациональной организации эксперимента, сокращения времени и затрат. Для получения представления о поверхности отклика факторов серий эксперимента запишем функцию в аналитическом виде. Контактное давление, которое в первом приближении можно определить по формуле Ламе – Гадолина [2], представим в виде

$$P_k = f(r_i, \theta_i, N_i, l_i), \quad (1)$$

где r_i – радиус деталей ПКНС в i -й момент времени работы соединения; θ_i – угол относительного поворота сопрягаемых деталей; N_i – величина натяга; l_i – длина сопрягаемых деталей.

Величина и соотношения размеров образцов были приняты на основе анализа практики применения соединений с натягом в промышленности [3–7], а также с учетом требований, предъявляемых к ПКНС в процессе эксплуатации. С учетом диаметра длина внутренней детали принята на уровне 60 мм. Диаметр отверстия в детали I равен 20 мм и необходим для размещения технологической оснастки (приводов). Для обеспечения жесткости детали I ее внешний диаметр принимаем равным 60 мм. В соответствии с рекомендациями общего машиностроения длина посадки принимается $L = 0,9d$.

В соответствии с дальнейшими эксплуатационными характеристиками соединения устанавливаемая на внутреннюю деталь промежуточная деталь имеет длину меньше, поэтому длина промежуточной детали принята на уровне 47 мм. Длина внешней детали, устанавливаемой на промежуточную деталь, также имеет меньшую длину, принятую на уровне 30 мм.

Материалом деталей принята конструкционная сталь 40 с последующей термообработкой – улучшением НВ 280-320. Качество наружных поверхностей деталей для натурального эксперимента принято на уровне высоты микронеровностей $Rz = 0,4 \dots 0,8$ мкм (седьмой квалитет). Качество внутренних поверхностей деталей для натурального эксперимента принято на уровне высоты микронеровностей $Rz = 2,6 \dots 2,8$ мкм (восьмой квалитет).

Для заданных размеров деталей рассчитывались величины натягов с помощью аналитической методики расчета с использованием зависимостей Ляме – Гадолина для условия $P_k \leq [\sigma_T]$. Для минимальных натягов необходимо выполнение условия неподвижности соединения. Критерием выбора максимальных натягов явилось удовлетворение условию нахождения контактных напряжений в зоне упругости. Расчетные значения натяга $N1$ (внутренняя деталь – промежуточная деталь) варьируются нижним пределом в 4 мкм и верхним пределом в 25 мкм. Для $N2$ (промежуточная деталь – внешняя деталь) эти значения, соответственно, 12 мкм и 51 мкм. Образцы деталей для экспериментального исследования представлены на рис. 2.

Детали по разработанным эскизам изготовлены совместно с отделом высоких технологий Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова. В соответствии с ГОСТ 3328–95 детали выполнены с требуемой твердостью, шероховатостью и точностью. Точность подбора натягов в цилиндрических соединениях обеспечивалась селективной подборкой в пределах допустимых отклонений.

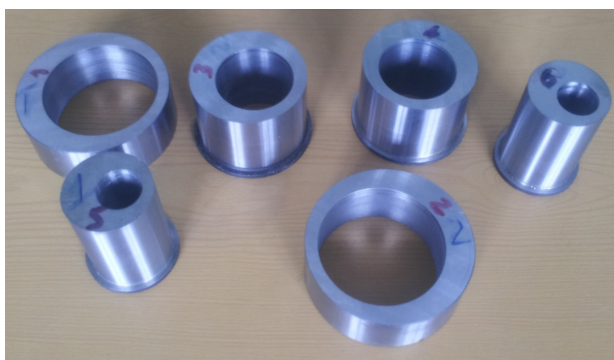


Рис. 2. Комплект деталей ПКНС для экспериментального исследования

Определение твердости образцов выполнено портативным твердомером TDM-3.

Выполнено также измерение микрогеометрии (шероховатости и профилограммы) деталей. Измерение выполнялось до сборки полисоединений на предмет удовлетворения требованиям эксперимента по шероховатости. С целью получения достоверной информации измерение шероховатости до сборки проводилось дважды: в Институте механики Уральского отделения РАН на приборе для контроля шероховатости «Профилометр цеховой 296» фирмы «АСМА-Прибор» (рис. 3). Измерение образцов производилось щуповым методом с восемью точками трассирования с длиной трассы 1,5 мм; стандарт измерения ISO.

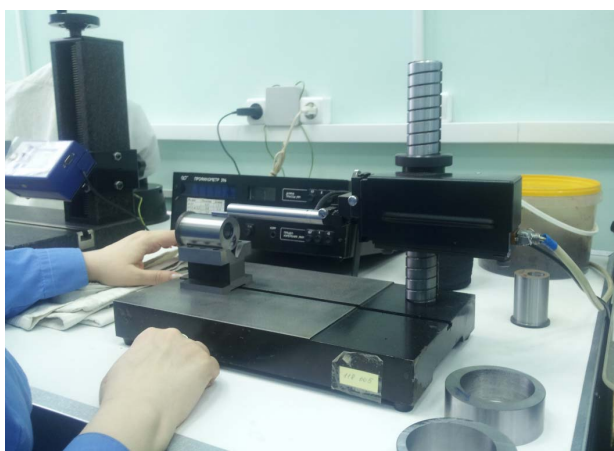


Рис. 3. Профилометр цеховой 296 фирмы «АСМА-Прибор» для контроля шероховатости

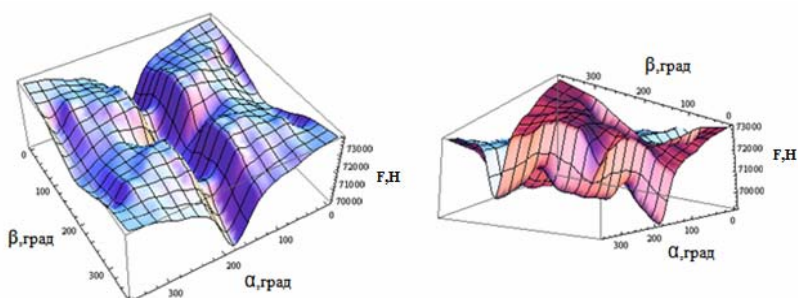


Рис. 4. Нагрузочная способность ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей по внешней поверхности

В соответствии с теорией измерений были выполнены обмеры посадочных поверхностей деталей на 3D координатно-измерительной машине *DuraMax* фирмы *Carl Zeiss*.

Натурный эксперимент проводился в следующей последовательности.

1. В нагревательной установке при температуре 300 °С в течение 8 мин. осуществляется нагрев комплекта подготовленных образцов промежуточной детали соединения.

2. Выполняется установка внутренней детали в отверстие нагретой промежуточной детали с необходимым базированием.

3. Собранное соединение выдерживается не менее 120 мин.

4. В нагревательную установку помещается комплект подготовленных образцов внешней детали соединения и выдерживается в течение 8 мин. при температуре 300 °С.

5. Выполняется установка собранного ранее соединения «внутренняя деталь – промежуточная деталь» в отверстие нагретой внешней детали с необходимым базированием.

6. Собранное соединение выдерживается не менее 120 мин.

7. Производится распрессовка деталей соединения с учетом усилий распрессовки и соответствующих ему перемещений. Сначала из соединения через специальное приспособление выпрессовывается внешняя деталь. Величина усилия распрессовки фиксируется, сигналы выводятся на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой оси – перемещение. По окончании сборки строится диаграмма распрессовки.

8. Осуществляется выпрессовка промежуточной детали через специальное приспособление. Величина усилия распрессовки фиксируется, сигналы выводятся на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой оси – перемещение. По окончании сборки строится диаграмма распрессовки.

9. Все полученные в ходе эксперимента данные документируются.

По данным натурального эксперимента по определению нагрузочной способности поликонтактного неравножесткого соединения построены графики поверхностей (рис. 4, 5).

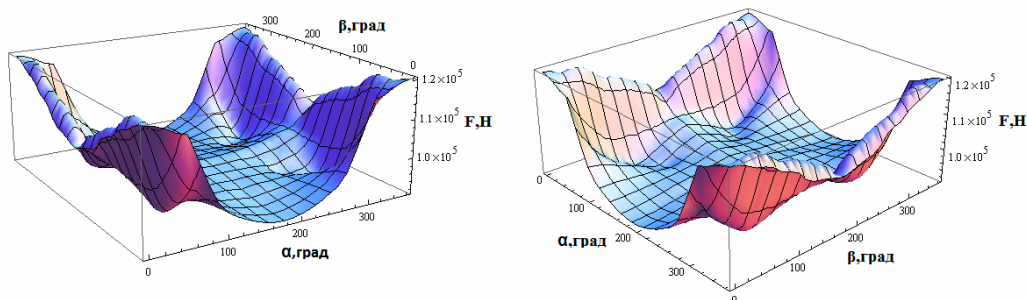


Рис. 5. Нагрузочная способность ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей по внутренней поверхности

С точки зрения эксплуатации с течением времени режимы нагружения ПКНС могут меняться. Следовательно, при использовании полученного ранее графика нагрузочной способности ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей (рис. 4, 5) можно выбирать оптимальные режимы нагружения соединения в процессе его дальнейшей эксплуатации, что позволяет, например, более точно назначить параметры проходки бурильной колонны.

Библиографические ссылки

1. Патент № 111878 РФ. Управляемый механизм перекося / Е. С. Чухланцев, А. В. Щенятский. – 2011.

2. Дарков А. В., Шниро Г. С. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1989. – 623 с.

3. Высоконапряженные соединения с гарантированным натягом / И. В. Абрамов [и др.]. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 300 с. – ISBN 5-7526-0114-2.

4. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 310 с.

5. Новиков А. Ф. Адаптивное управление процессом сборки продольно-прессовых соединений: дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2002. – 194 с.

6. Щенятский А. В. Напряженно-деформированное состояние и нагрузочная способность многослойных соединений с натягом: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1993. – 171 с.

7. Щенятский А. В. Теория и технология гидропрессовых соединений с натягом: дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2003. – 311 с.

A. V. Shchenyatskiy, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. S. Chukhlantsev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experimental Study the Load Capacity of Multiple-Contact Uneven Stiffness Interference Joints

The load capacity of multiple-contact uneven stiffness interference joints (MCUSJ) is determined experimentally. The factors influencing the load capacity of MCUSJ are considered. The diagram of load capacity versus the relative position of MCUSJ parts is obtained.

Key words: interference joint, load capacity, multiple-contact uneven stiffness interference joints.