

УДК 621.9

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА ИНСТРУМЕНТА ПО ПАРАМЕТРАМ СЛЕДА СКРАЙБИРОВАНИЯ¹

© Б. Я. Мокрицкий², А. Д. Верхотуров³, Д. А. Пустовалов²,
А. А. Верещака⁴, А. И. Евстигнеев², Е. Г. Кравченко²

Статья поступила 25 июля 2014 г.

Определение эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента путем реализации натуральных испытаний при резании нежелательно из-за длительности и дороговизны испытаний. Особенно это касается случая, когда необходимо сравнить между собой несколько инструментальных материалов, имеющихся в производстве, или только разрабатываемых. При этом следует использовать косвенные методы, которые по принципу неразрушающего контроля могли бы обеспечить с достаточным уровнем точности возможность быстрого (оперативного) прогнозирования эксплуатационных свойств инструмента, выполненного из того или иного эксплуатационного материала, либо на качественном уровне расставить сравниваемые инструменты (материалы) в определенной последовательности по тому или иному эксплуатационному признаку. Есть основания полагать, что таким методом может быть маятниковое скрайбирование. Из всех методов, основанных на индентировании, он наиболее приближен к реальным условиям нагружения инструмента при резании и позволяет на образце или реальном инструменте получить след, являющийся результатом взаимодействия индентора с исследуемым материалом. Параметры следа могут быть использованы для идентификации процессов, а по их величине можно прогнозировать эксплуатационные свойства. Необходимо лишь установить эту взаимосвязь.

Ключевые слова: оценка работоспособности; период стойкости; трещиностойкость; маятниковое скрайбирование.

Процесс разработки материала под конкретные условия эксплуатации всегда сопряжен с необходимостью проверки его эффективности при экспериментальных исследованиях. Тот же подход имеет место при выборе эффективного материала из числа нескольких имеющихся. Экспериментальная проверка необходима также в случаях, когда из нескольких инструментов (например, выполненных из одного и того же материала, но имеющих разную конструкцию) нужно выбрать самый рациональный по периоду стойкости.

Для наглядности рассмотрим пример. Пусть имеется несколько (разработанных или выбранных из числа известных) инструментов, предназначенных для эксплуатации в заданных условиях. Пусть их будет 10 штук. Как выбрать из них наиболее эффективный? Что взять в качестве критерия эффективности? Насколько они отличаются друг от друга по эффективности?

Ответы на эти вопросы требуют значительных затрат времени и средств. Наиболее просто ответить на

эти вопросы методом сравнительных испытаний. В качестве критерия для сравнения может быть принят один из показателей работоспособности инструмента, например период стойкости. Это означает, что каждый из 10 инструментов нужно будет испытать в натуральных условиях. Например, если это концевые твердосплавные фрезы для раскроя алюминиевых авиационных сплавов, то период стойкости таких типовых фрез может составлять несколько часов (от 3 до 5 ч). Если взять среднее значение 4 ч, учесть необходимость дублирования испытания еще два раза, то ресурс испытаний составит 120 ч. При стоимости одного станко-часа 30 тыс. руб. затраты составят 3,6 млн руб. При таких затратах средств и времени задача выбора конструкции инструмента и его материала становится актуальной проблемой.

Эксперимент. Предпринята попытка решить задачу оценки эффективности косвенно, а именно по результатам экспрессных испытаний. Условия испытаний максимально приблизили к реальным условиям резания по механизмам разрушения. Испытания проводили методом маятникового скрайбирования [1]. Осуществляли неразрушающее нагружение алмазным индентором различных инструментальных материалов в идентичных условиях. Оценивали тот или иной параметр следа скрайбирования, например максимальную ширину $b_{\max}$ следа. Затем по величине параметра инструменты расставляли в рандометрический ряд, например, по убыванию величины ширины следа.

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, гранты № 2014/68 (код проекта 254) и № 9.251.2014/К

² Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия; e-mail: boris@knastu.ru

³ Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия; e-mail: verhoturov36@mail.ru

⁴ Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия; e-mail: ecotech@rambler.ru

Последовательность расположения сравниваемых материалов в рандометрических рядах по изменению физико-механических свойств инструментальных материалов, параметра $b_{\max}$ следа скрайбирования и эксплуатационных свойств

Марка инструментального материала	Последовательность расположения в ряду по возрастанию величин физико-механических свойств		Последовательность расположения в ряду по возрастанию параметра (максимальной ширины $b_{\max}$) следа скрайбирования	Последовательность расположения в ряду по возрастанию величин эксплуатационных свойств материалов (по периоду стойкости инструмента при резании)
	по модулю упругости	по твердости		
1	2	3	4	5
P6M5	1	1	7	1
P9	2	2	6	2
P18	3	3	5	3
BK8	4	4	4	4
T30K4	5	5	3	5
T15K6	6	6	2	6
TF15	7	7	1	7

Примечание. В таблице числами показаны не значения величин, а место материала в ряду исследуемого параметра. Например, из семи сравниваемых инструментальных материалов на лучшем (7-м) месте находится материал TF15, потому что у него лучшие (7-е места) модуль упругости и число твердости, при этом у него самый меньший уровень повреждений при маятниковом скрайбировании (меньшие максимальная ширина $b_{\max}$ следа скрайбирования) и самые высокие (7-е место) эксплуатационные свойства (максимальный период стойкости).

В подобный же ряд выставляли эти же материалы по другим параметрам и свойствам, например, по твердости, микротвердости, трещиностойкости, прочности сцепления покрытия с основой, периоду стойкости при резании в тех или иных условиях. Сопоставляя полученные рандометрические ряды, устанавливали тенденции в их изменении, сравнивали на совпадение местоположения инструментов в ряду, оценивали вероятность прогнозирования эксплуатационного свойства опосредованно через контроль параметра следа скрайбирования.

Установили, что маятниковое скрайбирование позволяет [2–4] прогнозировать эксплуатационные свойства сравниваемых инструментов, взаимосвязь параметров существует. Однако сравнение имеет лишь качественный характер, т.е. можно отметить, какой инструмент лучше или хуже, но сложно сказать, насколько. Тем не менее ранжировать инструмент по убыванию или возрастанию эксплуатационного параметра метод маятникового скрайбирования позволяет. В ряде производственных случаев этого достаточно. Есть основания полагать, что может быть получена и количественная взаимосвязь, по крайней мере на простых сталях и мягких материалах такая взаимосвязь параметра следа и эксплуатационного свойства инструмента прослеживается.

Результаты и обсуждение экспериментальных данных. Полученные результаты представлены в таблице. В ней в столбцах 2–5 приведен номер места, которое занимает тот или иной инструментальный материал (инструмент) по тому или иному параметру. Данные столбцов 2 и 3 взяты из справочной литературы, данные столбца 3 перепроверены натурными замерами. Данные столбца 5 получены для случая труднообрабатываемых материалов, где превалирует вязкохрупкий механизм разрушения твердого сплава с развитием трещины Гриффитса по интерметаллид-

ной схеме распространения трещины. Процесс получения данных, приведенных в столбце 4, описан ниже.

Маятниковое скрайбирование реализовали [4] следующим образом. При движении жесткого маятника по дуге окружности индентор, установленный на маятнике, взаимодействовал с материалом образца (изделия). В образце формируется след маятникового скрайбирования, характеризующийся изменением глубины внедрения. В каждый текущий момент времени движения индентора в материале образца в результате его деформации образуется след с текущим значением ширины b_i . В месте достижения максимальной глубины h внедрения след, соответственно, имеет максимальную ширину $b_{\max}$. Ее можно измерить, используя оптические средства, например микроскоп. Некоторое представление о следе скрайбирования дает кинетическая картина, представленная на рис. 1.

Замеряли максимальную ширину следа маятникового скрайбирования на нескольких сравниваемых материалах, при этом условия (глубина внедрения, тип индентора и т.д.) скрайбирования сохраняли постоянными. По результатам замеров сравниваемые материалы выстраивали в рандометрический ряд, например, по возрастанию величины максимальной ширины $b_{\max}$ следа. Для сравниваемых материалов из справочных данных выявляли отдельные физико-механические свойства, такие как предел прочности и модуль упругости (модуль Юнга). Сопоставляли величины максимальной ширины $b_{\max}$ следа с этими физико-механическими свойствами для установления их взаимосвязи (см. таблицу).

Работа не с величинами, а с местоположением исследуемых материалов в рандометрическом ряду позволяет получить качественную картину связи максимальной ширины $b_{\max}$ следа скрайбирования с физико-механическими свойствами материалов, например, при повышении предела прочности увеличивается

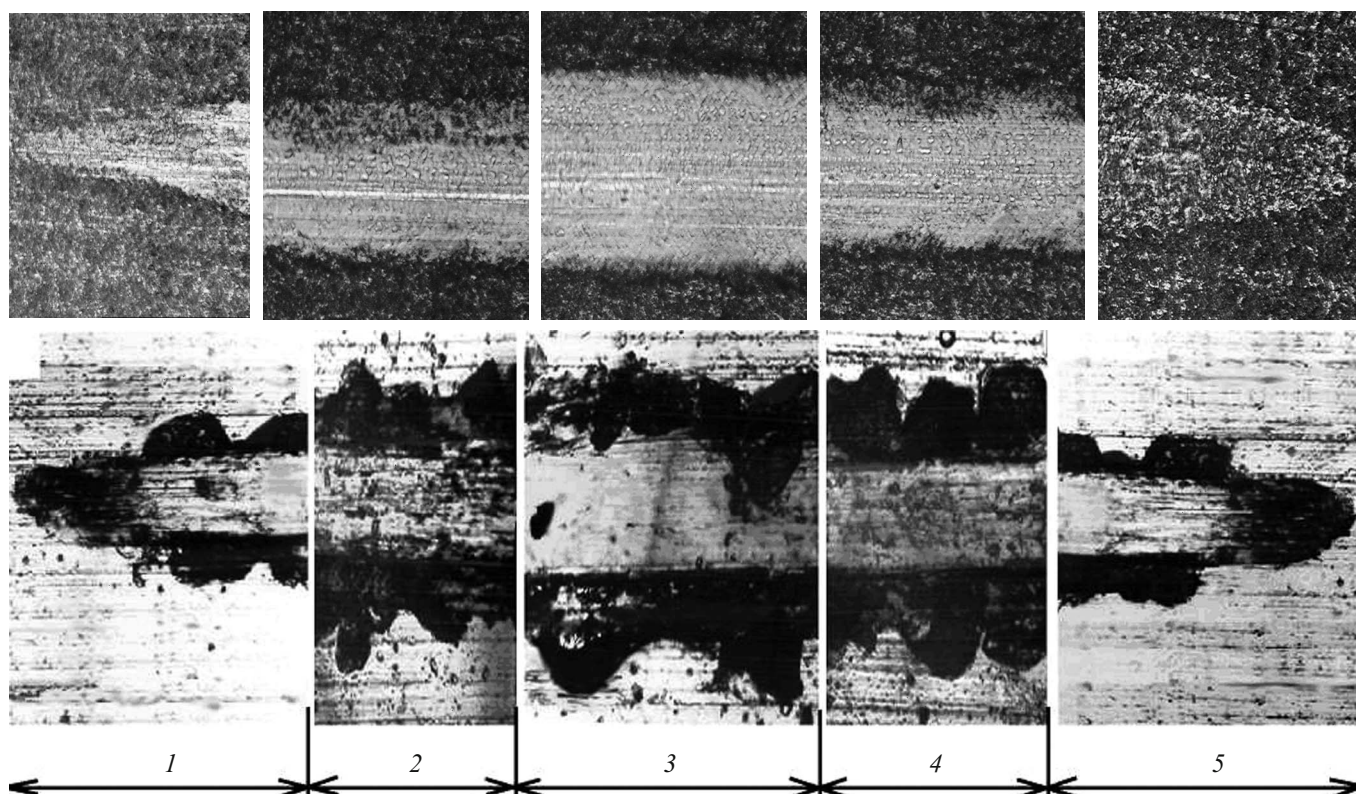


Рис. 1. Кинетическая картина (монтаж кадров) следа маятникового скрайбирования, полученного на твердосплавном материале (верхние кадры) и на твердосплавном материале с многослойным покрытием (нижние кадры): 1 — момент входа индентора в материал образца; 2 — перемещение индентора в материале образца с заглублением; 3 — достижение индентором максимальной глубины; 4 — перемещение индентора с уменьшением глубины внедрения; 5 — выход индентора из материала образца

максимальная ширина, и наоборот. Такой качественной связи вполне достаточно для установления наиболее эффективного материала. Сравнение самих численных значений максимальной ширины, предела прочности и модуля упругости целесообразно лишь для того, чтобы ответить на вопрос: во сколько раз применение этого материала эффективнее применения другого. Такой задачи мы не ставили, а лишь располагали сравниваемые материалы в ряд по изменению максимальной ширины $b_{\max}$ следа скрайбирования и сравнивали, совпадает ли эта последовательность с последовательностью материалов в ряду изменения физико-механических свойств. Если наблюдается прямая или обратная тенденции, то это позволяет говорить о наличии связи максимальной ширины $b_{\max}$ следа скрайбирования с физико-механическими свойствами и искать возможность прогнозирования работоспособности изделий, выполненных из этих материалов.

Из полученных данных следует, что связь максимальной ширины $b_{\max}$ следа скрайбирования с физико-механическими свойствами материалов существует. В дальнейшем можно будет установить количественный характер связи, в том числе и по другим параметрам следа скрайбирования.

Изложенное выше позволяет говорить о новой парадигме в материаловедении. Это прежде всего свя-

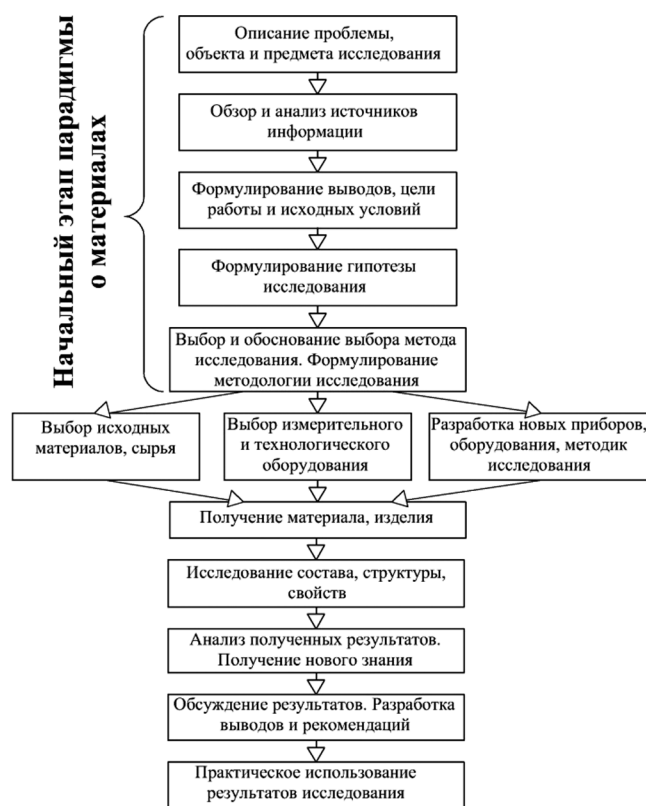


Рис. 2. Обобщенная методологическая схема исследований в области материаловедения



Рис. 3. Графическая иллюстрация предложенной парадигмы науки о материалах

зано с потребностью [5] в новом оборудовании для реализации метода маятникового скрайбирования. Необходимость реорганизации основных парадигм науки высказывалась учеными неоднократно [6 – 8].

Предлагаемая пятизвенная парадигма науки о материалах требует того, что научная работа должна начинаться с разработки ее методологической схемы, т.е. с разработки методологии решения проблемы, подразумевающей в том числе и описание решаемой проблемы. Проблема может иметь различные аспекты, следовательно, могут быть разными цели и задачи исследований. Соответственно, может трансформироваться методологическая схема (рис. 2). Концепция такой методологической схемы заимствована из работы [9], в которой показано, что она жизненна и нашла практическое применение.

Предлагаемый подход в начальном звене парадигмы (рис. 3) наряду с методологией предусматривает и метод исследования. Учет метода исследования крайне необходим. Без него невозможно сопоставить или сравнить полученные новые научные результаты. Следовательно, метод исследования нужно не только выбрать и обосновать выбор, но и обязательно указать в начале исследования для того, чтобы другие могли знать, как и с помощью каких средств и методик получен результат и его числовые значения. Только в этом случае допустимо сопоставление результатов.

Таким образом, метод маятникового скрайбирования, являясь неразрушающим, создает условия нагружения [10] испытываемого материала, наиболее близкие к условиям резания. Он позволяет на качественном уровне по параметрам следа скрайбирования сравнивать физико-механические и эксплуатационные свойства нескольких материалов (инструментов). Имеются предпосылки для того, чтобы установить количественные связи.

В связи с тем, что конечной целью науки в рамках рассматриваемой проблемы является усовершенствование уже известных и создание новых материалов и изделий из них, то нами предлагается и заключительное звено новой парадигмы — «материал». Ранее это предполагалось по умолчанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mokritskiy B. Y., Kirichek A. V., Shpilev A. M., Pustovalov D. A., Sablin P. A. Acoustic assessment of tool quality / Russ. Engin. Res. 2013. Vol. 33. N 2. P. 74 – 78.
2. Mokritskiy B. Y. Tool Materials for Chemical Machine Building / Chem. Petrol. Engin. 2014. Vol. 49. Issue 9 – 10. P. 639 – 640.
3. Пат. 2495412 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/00. Способ сравнительной оценки свойств материалов / Пустовалов Д. А., Мокрицкий Б. Я., Петров В. В., Огилько С. А., Савинковский М. В., Сомин В. И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»). — № 2012120101/28; заявл. 15.05.2012; опубл. 10.10.2013. Бюл. № 17.
4. Pustovalov D. A., Mokritskii B. Y., Ogilko S. A., Lavrukhin I. V., Belyanin K. O. Pendulum sclerometer for evaluating material corrosion resistance / Chem. Petrol. Engin. 2013. Vol. 48. Issue 11 – 12, P. 688 – 692.
5. Левина Д. А., Чернышов Л. И. Тенденции развития современного материаловедения / Вестник УМТ. 2008. № 1. С. 37 – 55.
6. Кун Т. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1977. — 300 с.
7. Григорьев С. Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровов для применения в инструментальном производстве / Ученые записки КнАГТУ. 2011. № 1. Ч. 1(1). С. 92 – 98.
8. Верещака А. С. Анализ тенденций совершенствования технологических производственных сред / Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения. Школа-семинар по фундаментальным основам создания инновационных материалов и технологий: материалы Международной науч.-техн. конф. В 2 ч. — Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. — 379 с.
9. Верхотуров А. Д. Методология создания сварочных материалов: монография / А. Д. Верхотуров, Э. Г. Бабенко, В. М. Макиенко / Под ред. чл.-корр. РАН Б. А. Воронова. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. — 126 с.
10. Мокрицкий Б. Я., Петров В. В., Высоцкий В. В., Артеменко А. В. Схемы нагружения и методики оценки физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств инструментальных материалов / Ученые записки КнАГТУ. 2013. № 4. С. 51 – 59.

REFERENCES

1. Mokritskiy B. Y., Kirichek A. V., Shpilev A. M., Pustovalov D. A., Sablin P. A. Acoustic assessment of tool quality / Russ. Engin. Res. 2013. Vol. 33. N 2. P. 74 – 78.
2. Mokritskiy B. Y. Tool Materials for Chemical Machine Building / Chem. Petrol. Engin. 2014. Vol. 49. Issue 9 – 10. P. 639 – 640.
3. RF Pat. 2495412, IPÊ G 01 N 29/00. Spособ sravnitel'noi otsenki svoistv materialov [Way of a comparative assessment of properties materials] / Pustovalov D. A., Mokritsky B. Y., Petrov V. V., Ogilko S. A., Savinkovsky M. V., Somin V. I.; Applicant and patent holder Komsomolsk-on-Amur State Technical University. — No. 2012120101/28; applied 15.05.2012; published 10.10.2013. Bulletin No. 17 [in Russian].
4. Pustovalov D. A., Mokritskii B. Y., Ogilko S. A., Lavrukhin I. V., Belyanin K. O. Pendulum sclerometer for evaluating material corrosion resistance / Chem. Petrol. Engin. 2013. Vol. 48. Issue 11 – 12., P. 688 – 692.
5. Levina D. A., Chernyshov L. I. Tendentsii razvitiya sovremenogo mashinostroeniya [Tendencies of development of modern materials science] / Visnik UMT. 2008. N 1. P. 37 – 55 [in Russian].

6. **Kun T.** Struktura nauchnyh revolutsii [Structure of scientific revolutions]. — Moscow: Progress, 1977. — 300 p. [in Russian].
7. **Grigoriev S. N.** Tehnologicheskie printsipy osazhdeniya iznosostoikikh nanopokrytii dlya primeneniya v instrumental'nom proizvodstve [The technological principles of sedimentation of wearproof nanocoverings for application in tool production] / Uch. Zap. KnAGTU. 2011. N 1. P. 92 – 98 [in Russian].
8. **Vereshchaka A. P.** Analiz tendentsii sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh proizvodstvennykh sred [Analysis of tendencies of improvement of technological production environments] / Proc. of the Int. Sci.-Tech. Conf. «Innovative materials and technologies: achievements, problems, decisions. School seminar on fundamental bases of creation of innovative materials and technologies». In 2 parts. — Komsomolsk-on-Amur: Izd. KnAGTU, 2013. — 379 p. [in Russian].
9. **Verkhhoturov A. D., Babenko E. G., Makiyenko V. M.** Metodologiya sozdaniya svarochnykh materialov: monografiya [Methodology of creation of welding materials: monograph]. — Habarovsk: Izd. DVGUPS, 2008. — 126 p. [in Russian].
10. **Mokritsky B. Y., Petrov V. V., Vysotsky V. V., Artemenko A. V.** Skhemy nagruzheniya i metodiki otsenki fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik i éksploatatsionnykh svoistv instrumental'nykh materialov [Schemes of loading and technique of an assessment of physicomachanical characteristics and operational properties of tool materials] / Uch. Zap. KnAGTU. 2013. N 4. P. 51 – 59 [in Russian].

УДК 621.002.56;621.658.562;620.179.16.05

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ МЕТОДОМ МНОГОРАКУРСНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© В. П. Иванников, А. В. Кабакова¹

Статья поступила 16 декабря 2014 г.

Предложен способ количественной оценки качества соединений с натягом ультразвуковым эхоимпульсным методом. Показано, что коэффициент отражения — основной параметр, характеризующий качество соединения с натягом, т.е. его нагрузочную способность, определяемую максимальным значением крутящего момента, передаваемого прессовым соединением, поскольку он связан с нормальными напряжениями на контактирующих поверхностях соединения. Получена формула для вычисления коэффициента отражения ультразвука от места посадки соединения по измеряемым амплитудам эхоимпульсов в свободном кольце и в собранном соединении. Выделены и описаны характерные особенности методики исследования, позволяющие получить достаточно точную оценку качества соединений с натягом как на отдельных локализованных участках посадки, так и осредненную по окружности соединения при многокурсовом исследовании объекта по различным направлениям в заданной плоскости ультразвукового зондирования. Особое внимание уделено возможности и целесообразности автоматизации процесса контроля на основе метода многокурсового ультразвукового зондирования с целью оптимизации процесса исследования качества соединения.

Ключевые слова: соединения с натягом; ультразвуковой эхоимпульсный метод; коэффициент отражения; многокурсовое ультразвуковое зондирование.

При разработке методов исследования соединений с натягом (СсН) необходимо решать задачу не только получения достоверной информации о месте расположения соединения и характере его напряженно-деформированного состояния, но и определения локальной и средней величины натяга в соединении для оценки и достоверного прогнозирования рабочего ресурса конструкции.

Известно, что точность исполнения геометрических параметров СсН определяется точностью формы и взаимного расположения образующих соединение поверхностей [1, 2]. Отклонения (погрешности) формы и расположения поверхностей от установленных

номинальных значений возникают в процессе обработки деталей из-за неточности и деформации станка, инструмента и приспособления, деформации обрабатываемого изделия, неоднородности материала заготовки и др. В связи с искажением заданного геометрического профиля контактирующей поверхности соединения уменьшается его прочность и нарушается точность центрирования, снижаются эксплуатационные и технологические показатели соединения. При увеличении нагрузок, угловых скоростей, рабочих температур, характерных для современных машин, негативное влияние указанных факторов на эксплуатационные характеристики изделий на основе СсН усиливается. Таким образом, обеспечение максималь-

¹ Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия.