

УДК62-433.5: 621.923.9

Ю.Н. Внуков, д-р техн. наук, Н.В. Гончар, канд. техн. наук,  
Д.Н. Степанов, Запорожье, Украина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ И ПЛАВЛЕНИЯ ВОЛОКОН РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

*В даній роботі представлено спосіб вимірювання температури розм'якшення та плавлення волокон із різних матеріалів.*

*В данной работе представлен способ измерения температуры размягчения и плавления волокон из различных материалов.*

*The technique of measuring the softening and melting temperature of fibers made of various materials is presented in the paper.*

Финишная обработка деталей машин, особенно сложнопрофильных и тонкостенных, является трудоемким и в то же время ответственным процессом из-за труднодоступности и минимизации силового воздействия на поверхности. В связи с этим выбор инструментов и методов финишной обработки имеет большое значение в том числе и с точки зрения обеспечения высокой производительности и качества. С поставленной задачей справляются нежесткие виды инструментов типа проволочных металлических щеток, а также относительно недавно появившиеся на рынке инструментов полимерно-абразивные щетки, которые показали ряд преимуществ [1, 2, 3] при финишной обработке. Однако они имеют одно ограничение, которое необходимо учитывать при их дальнейшем использовании.

Применение полимерно-абразивных (ПА) волокон, собранных в виде щетки вращательного действия, позволяет удалять заусенцы и скруглять острые кромки, полученные на формообразующих операциях, таких как протягивание, фрезерование, сверление, а также полировать плоские поверхности без съема значительных слоев материала и практически без силового воздействия.

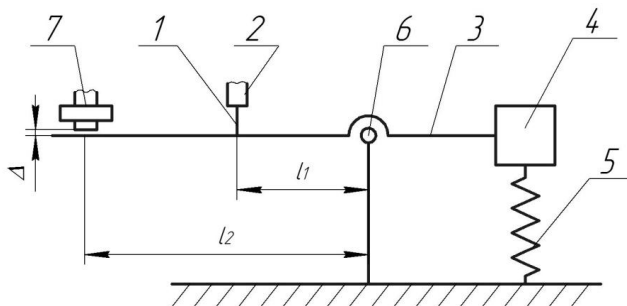
Температурный режим обработки является одним из факторов, влияющим на работоспособность, период стойкости, режущие свойства полимерно-абразивного инструмента. Существует аналитическая методика расчета теплового состояния плоских поверхностей при обработке ПА инструментом, учитывающая физико-механические и теплофизические условия обработки, режимы резания, геометрические размеры обрабатываемых деталей [4]. Тем не менее, к настоящему времени не проводилась практическая реализация измерений теплового воздействия на

отдельно взятое волокно и его состояние в месте воздействия повышенных контактных температур в период размягчения (стеклования) и плавления с целью установления его взаимосвязи с предельной температурой в рабочей зоне для определения допустимых параметров и режимов эксплуатации инструмента. Контактная температура оказывает наибольшее влияние на износ и термомеханическую деструкцию режущей части ПА волокон [5, 6]. Информация о величине и характере изменения температуры волокон послужит в дальнейшем основой для осуществления рационального выбора инструмента и охлаждения, подбора режимов процесса с целью минимизации теплового воздействия на поверхность изделия и рабочую поверхность инструмента для максимальной стойкости, и обеспечения требуемого качества изделий. Поэтому задача практического анализа тепловых ограничений, обеспечивающая дальнейшую возможность выбора рациональных режимов и параметров обработки полимерно-абразивными инструментами, является актуальной.

Установка состоит из плиты, на которой расположена вертикальная направляющая-регулятор с закреплённой на ней уравновешенной системой измерения. Система измерения (рис. 1) состоит из: подпружиненного рычага 3, на котором расположен зажим с волокном 1, балансировочный груз 4 и пружина 5. Также установка включает в себя нагревательный элемент 2, к рабочей поверхности которого приварена микротермопара, и бесконтактный индуктивный датчик 7. Нагревательный элемент 2 и датчик 7 закреплены отдельно в индикаторных стойках. Для удержания рычага в неподвижном состоянии при хранении и транспортировке предусмотрена система фиксации рычага.

Принцип действия установки следующий. Волокно 1 крепится в зажим на рычаге 3. Затем к волокну подводится нагревательный элемент 2 с обеспечением натяга волокна относительного нагревательного элемента. К концу подпружиненного рычага 3 подводится бесконтактный индуктивный датчик 7 с минимальным зазором  $\Delta$  между датчиком и рычагом. Данные датчика, измеряющего изменение зазора, и микротермопары, фиксирующей изменение температуры рабочей плоскости нагревателя, одновременно поступают в регистрирующий прибор. Для получения качественного сигнала можно использовать усилители, АЦП (аналогово-цифровой преобразователь), ПК (персональный компьютер). В процессе работы установки под воздействием тепла нагревательного элемента происходит постепенное размягчение и плавление полимерно-абразивного волокна, что в свою очередь приводит к проворачиванию рычага вокруг оси б, а, следовательно, к уменьшению зазора  $\Delta$ . В результате на выходе формируются зависимости данных изменения температуры и зазора  $\Delta$  по одной временной шкале. По ранее полученной при тарировке микротермопары формуле, определяется диапазон температуры размягчения (стеклования) и плавления волокна.

Также через систему плечей рычага ( $l_1$  и  $l_2$ ) пересчитывается уменьшение исходной длины волокна по изменению зазора  $\Delta$ .



- 1 – волокно (образец); 2 – нагреватель с микротермопарой; 3 – рычаг;  
 4 – балансировочный груз; 5 - пружина; 6 – ось рычага;  
 7 – бесконтактный индуктивный датчик

Рисунок 1 – Схема системы измерения установки для контроля температуры размягчения и плавления волокон

Согласно разработанной методике были исследованы волокна различных видов полимерно-абразивных инструментов. По каждому волокну выполняли десять измерений, получая совмещенный график (рис. 2) зависимости перемещения ( $\Delta l$  – уменьшение исходной длины волокна) и температуры от времени. По десяти измерениям находили размах нижнего порога температур  $T_{min} \dots T_{max}$  ( $T_i$  – точка начала размягчения волокна) и средневзвешенное значение температур для данного волокна:

$$T_{CB} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} \quad (1)$$

Для ПА инструмента с диаметром волокна 0,6 мм и зернистостью F180 результаты одного из замеров представлены на рис. 2, где хорошо виден период постепенной потери прочностных свойств полимерной основы волокон (так называемое явление стеклования полимера, когда при повышенной температуре полимер еще не плавится, но в его структуре постепенно разрываются связи между блоками, что приводит к потере некоторых свойств) между точкой 1 – начало размягчения ( $T=68$  °C) и точкой 2 – начало плавления ( $T=82$  °C).

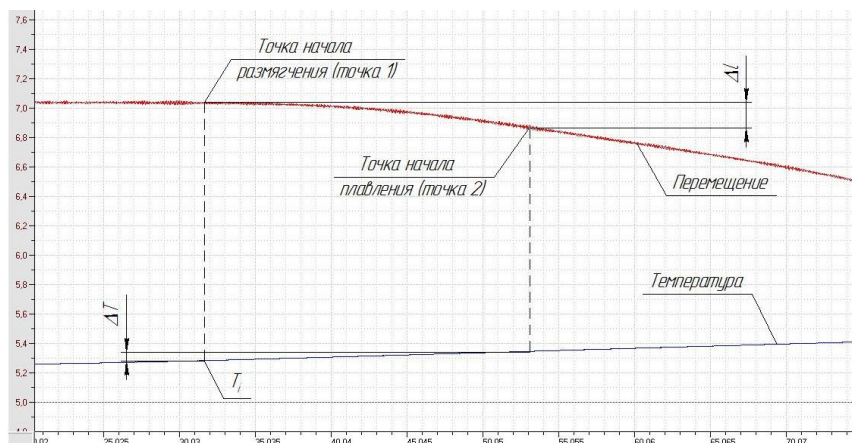


Рисунок 2 – Экспериментальный график зависимости изменения длины волокна и температуры по времени

Температура равномерно росла и от точки 1 до точки 2 повысилась на  $\Delta T=14\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 15 секунд. За это время длина волокна уменьшалась неравномерно – сначала еле заметно, затем все быстрее. И в результате  $\Delta l$  за эти 15 секунд составило 33,9 мкм.

После точки 2 полимер плавится и зависимость  $\Delta l$  от времени стала прямо пропорциональной. В среднем, при повышении температуры нагревательного элемента на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  данное волокно теряет около 5 мкм (4,86 мкм) длины, то есть за следующие 15 с ( $\Delta T=14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) волокно укоротится еще на 68 мкм.

Теплостойкость волокон двух однотипных ПА инструментов (табл. 1) фирмы “Osborn” (Германия) и «Пиранья» (Украина) значительно отличается. Причиной этого может являться другой состав полиамида или различное содержание абразивной фракции. И то и другое – коммерческая тайна всех фирм-изготовителей.

При эксплуатации полимерно-абразивного инструмента повышение контактной температуры в зоне обработки выше точки 2 может вызывать расплавление волокна и налипание пленки полимерной основы на обрабатываемую поверхность, что нежелательно с точки зрения уменьшения периода стойкости инструмента в целом. Однако, это явление для дисковых ПА инструментов не является катастрофическим, так как при эксплуатации контакт волокна и поверхности образца периодичен.

Таблица 1 – Результаты исследований температуры размягчения ПА волокон

№ п./п.	Вид ПАИ	Абразив		Диаметр волокна $d_f$ , мм	Фирма изготовитель	Температура размягчения		
		Материал	Зернистость			$T_{min}$ , °C	$T_{max}$ , °C	Средневзвешенная температура $T_{св}$ , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Дисковый	63С	F180	0,6	“Osborn” (Германия)	69	81	78
2	Дисковый	63С	F180	0,6	“Пиранья” (Украина)	47	55	51

В среднем 1/10 оборота инструмента волокно находится в контакте (по времени это составляет 3...30 миллисекунд, в зависимости от режимов обработки), а 9/10 оборота проводит в свободном вращении относительно оси инструмента. В этом свободном скоростном перемещении волокно отдает окружающей среде тепло, таким образом, происходит самоохладение. С другой стороны, если продолжительность обработки поверхности детали составляет 15 с, то нагрев волокна (контакт) длится в сумме 1,5 с, что недостаточно, чтобы интенсивно нагревать и изнашивать ПА инструмент.

Изучив поведение волокон при повышенных температурах можно сказать, что допускать повышение температуры в зоне обработки ПА инструментами больше определенного уровня нежелательно. Это является серьезным ограничением при работе и недостатком ПА инструментов. Однако, с другой стороны, при обработке ПА инструментами гарантировано нельзя получить прижоги поверхности детали или как-либо перегреть обрабатываемый металл, что является своего рода преимуществом. К тому же применение СОТС с целью отвода тепла из зоны резания значительно повышают возможность длительного применения ПА инструментов при «жестких» режимах.

По результатам данной работы можно сказать, что данную установку можно применять:

- для мониторинга температур размягчения и/или плавления волокон различного сечения из разных материалов для дальнейшего использования полученных данных при выборе режимов и условий обработки такими инструментами с целью обеспечения в рабочей зоне определенного диапазона температур;

- для исследования состояния материала волокон в условиях повышенных температур при подборе определенного химического состава и фракции волокон для новых, более термостойких инструментов.

**Список использованных источников:** 1. Абрашевич Ю.Д., Оглоблинский В.А., Оглоблинский А.В. Щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон // Мир техники и технологий. – Харьков, 2006 – №5. – С. 50-52. 2. Внуков Ю.Н., Гончар Н.В., Кондратюк Э.В., Степанов Д.Н. Применение полимерно-абразивных инструментов для обработки острых кромок пазов типа «ласточкин хвост» // Резание и инструмент в технологических системах. Международный научно-технический сборник. Выпуск 79, Харьков, НТУ (ХПИ), 2011, С. 14-24. 3. Н.В. Гончар. Снятие заусенцев на алюминиевых заготовках, полученных литьем в кокиль и под давлением, при помощи полимерно-абразивного щеточного инструмента / Гончар Н.В., Степанов Д.Н., Тришин П.Р. // Материалы научно-технической конференции «Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении» Украина, Киев-Одесса, 22-24 сентября 2014 г. – с. 42-43. 4. Устинович Д.Ф. Моделирование тепловых процессов при обработке плоских поверхностей полимерно-абразивными щетками / Д.Ф. Устинович, В.М. Голуб // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. материалов 6 междунар. науч. – техн. конф., Минск, 14 – 16 сентября 2011 г.; ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – Кн. 2. – С. 379-385. 5. Устинович Д.Ф. Исследование износостойкости инструмента на основе полимерно-абразивных композитов / Д.Ф. Устинович // Композиционные материалы в промышленности: сб. тр. 29 междунар. науч.-техн. конф., Ялта, 1-5 июня 2009 г.; УИЦ «Наука. Техника. Технологии». – Киев, 2009. – С. 137-139. 6. Kundrak, J; Gyani, K; Bana, V: Roughness of ground and hard-turned surfaces on the basis of 3D parameters. – International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 38 Is.1-2, pp. 110-119 DOI: 10.1007/s00170-007-1086-9 Published: 2008.

**Bibliography (transliterated):** 1. Abrashevich Ju.D., Ogloblinskij V.A., Ogloblinskij A.V. Shhetochnye instrumenty na osnove polimerno-abrazivnyh volokon // Mir tehnik i tehnologij. – Har'kov, 2006. - №5. – S. 50-52. 2. Vnukov Ju.N., Gonchar N.V., Kondratjuk Je.V., Stepanov D.N. Primenenie polimerno-abrazivnyh instrumentov dlja obrabotki ostryyh kromok pazov tipa «lastochkin hvost» // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij sbornik. Vypusk 79, Har'kov, NTU (HPI), 2011, S. 14-24. 3. N.V. Gonchar. Snjatие zausencev na aljuminievyyh zagotovkakh, poluchennyh lit'em v kokil' i pod davleniem, pri pomoshhi polimerno-abrazivnogo shhetochnogo instrumenta / Gonchar N.V., Stepanov D.N., Trishin P.R. // Materialy nauchno-tehnicheskoy konferencii «Novye i netradicionnye tehnologii v resurso- i jenergosberezhennii» Ukraina, Kiev-Odessa, 22-24 sentjabrja 2014 g. – s. 42-43. 4. Ustinovich D.F. Modelirovanie teplovyh processov pri obrabotke ploskikh poverhnostej polimerno-abrazivnymi shhetskami / D.F. Ustinovich, V.M. Golub // Sovremennye metody i tehnologii sozdanija i obrabotki materialov: sb. materialov 6 mezhdunar. nauch. – tehn. conf., Minsk, 14 – 16 sentjabrja 2011 g.; FTI NAN Belarusi; redkol.: S.A. Astepchik (gl. red.) [i dr.]. – Minsk, 2011. – Kn. 2. – S. 379 – 385. 5. Ustinovich D.F. Issledovanie iznosostojkosti instrumenta na osnove polimerno-abrazivnyh kompozitov / D.F. Ustinovich // Kompozicionnye materialy v promyshlennosti: sb. tr. 29 mezhdunar. nauch.-tehn. conf., Jalta, 1 – 5 ijunja 2009 g.; UIC «Наука. Tehnika. Tehnologija». – Kiev, 2009. – S. 137 – 139. 6. Kundrak, J; Gyani, K; Bana, V: Roughness of ground and hard-turned surfaces on the basis of 3D parameters. – International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 38 Is.1-2, pp. 110-119 DOI: 10.1007/s00170-007-1086-9 Published: 2008.

*Поступила в редколлегию 22.07.2015*