

УДК 62-216.53

DOI: 10.30987/article_5ce675a169dde6.03417198

И.А. Нотин, аспирант, **И.А. Киселев**, к.т.н., **С.Н. Синавчиан**, к.т.н.
(ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)
E-mail: notin.i@ya.ru

Влияние метода механической обработки на усталостную прочность деталей машиностроения из дисперсно-упрочненных полимерных композиционных материалов

Рассмотрено влияние метода механической обработки на долговечность деталей машиностроения, изготовленных из дисперсно-упрочненных полимерных композиционных материалов. Были проведены сравнительные испытания на циклическую прочность образцов, полученных традиционным методом фрезерования алмазным инструментом и с использованием гидроабразивного резания (ГАР). Испытания базировались на оценке количества циклов до разрушения и дрейфа амплитудно-частотной характеристики образца при вибровоздействии на его резонансной частоте. Подтверждена перспективность ГАР в качестве альтернативы традиционным методам механической обработки ДУПКМ.

Ключевые слова: машиностроение; механическая обработка; гидроабразивное резание; дисперсно-упрочненные полимерные композиционные материалы.

I.A. Notin, Post graduate student, **I.A. Kiselyov**, Can. Sc. Tech., **S.N. Sinavchian**, Can. Sc. Tech.
(FSAEI HE "Bauman State Technical University of Moscow (National Research University)",
Building 1, 5, 2-d Baumanskaya Str., Moscow, 105005)

Machining impact upon fatigue strength of engineering parts made of dispersion-strengthened composites

An impact of a machining method upon life of engineering parts made of dispersion-strengthened polymeric composites is analyzed. Comparative tests for cyclic strength of samples obtained in a common way of milling with a diamond tool and with the use of hydro-jet cutting (HJC) were carried out. The tests were based upon the assessment of the cycle amount before decomposition and an amplitude-frequency characteristic drift of a sample at vibration impact at its resonance frequency. The HJC outlook as an alternative of common machining methods of dispersion-strengthened polymeric composites (DSPC) is confirmed.

Keywords: mechanical engineering; machining; hydro-jet cutting; dispersion-strengthened polymeric composites.

Введение

Применение дисперсно-упрочненных полимерных композиционных материалов (ДУПКМ) в станкостроении является перспективным направлением [1, 2], которое позволяет реализовать противоречивое требование изготовления единичных образцов (и малых партий) конструкций и деталей станков (ста-

нин) при их малой себестоимости. Различная рецептура и способы обработки позволяют получать детали с различными механическими свойствами, удовлетворяя разнонаправленные запросы современного машиностроения, при этом данный материал более технологичный по сравнению с серым чугуном [3].

Вместе с тем, при проектировании и производстве деталей из ДУПКМ возникает ряд

проблем, затрудняющих использование данного материала в машиностроении. В первую очередь – это низкая эффективность существующей технологии механической обработки деталей из ДУПКМ. В настоящее время единственным методом формирования отверстий, пазов и других элементов детали является резание алмазным инструментом без применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Отказ от использования СОЖ связан с образованием в процессе резания этого материала гидроабразивной суспензии, которая приводит к повышенному износу подвижных частей станка. Данная технология механической обработки деталей из ДУПКМ характеризуется, как низкой производительностью, так и неудовлетворительным качеством формирующегося поверхностного слоя детали. Последнее определяется деградацией полимерного связующего материала вследствие температурного воздействия в зоне резания [4] (рис. 1).

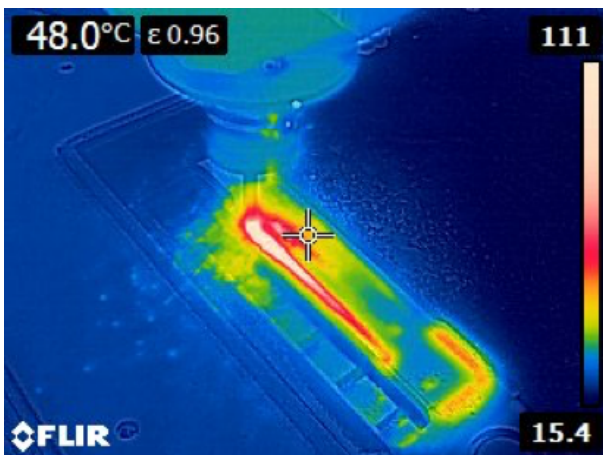


Рис. 1. Инфракрасная термограмма зоны резания алмазной фрезой DJTOOL DMQX0620 диаметром 6 мм ($S = 1,0$ м/мин; тепловизор FlirE8; температурная чувствительность 0,06 °С)

Как следствие, это может приводить к снижению прочностных характеристик детали и в первую очередь ее усталостной прочности. Известно доминирующее влияние вибраций, в результате действия которых происходит более 70 % отказов в машиностроительных изделиях ответственного функционального назначения [5].

Проведенные в МГТУ им. Н.Э Баумана исследования показали перспективность применения технологии гидроабразивного резания (ГАР) при механической обработке деталей из ДУПКМ по сравнению с обработкой алмаз-

ным инструментом по критерию производительности (достигнуто 2–3-х кратное повышение производительности при обработке типовых деталей).

В настоящей статье приводятся результаты дальнейших исследований, ставящих целью оценку влияния двух технологий механической обработки на долговечность конструкции.

Методика испытаний

В качестве критерия при сравнительном исследовании прочностных характеристик был выбран результат динамических испытаний образцов заданной геометрии на циклическую прочность.

Основой методики определения циклической прочности является подход, реализованный при испытаниях образцов сварных соединений [7] и крупногабаритных изделий [8] на усталость на резонансных режимах, а также методиках, приведенных в отраслевом стандарте ГОСТ РВ 20.57.305-98. На основе этого подхода был разработан алгоритм испытания, представленный на рис. 2.

При испытаниях контрольные образцы материала закрепляются консольно. Вибровозмущение производится на собственной резонансной частоте первого тона образцов, поскольку изгибающий момент в консольной балке достигает максимального значения в заделке.

Исследования проводились на тонкостенных плоских образцах (ГОСТ 25.502–79), где фактор качества поверхностного слоя играет важную роль в формировании эксплуатационных показателей таких ответственных частей деталей машиностроения, как ребра жесткости и несущие станка.

С целью выбора испытательного оборудования в конфигурации, обеспечивающей требуемые режимы испытаний, была произведена предварительная оценка резонансной частоты консольно закрепленного образца из ДУПКМ с использованием программного обеспечения SolidWorks. На основании полученных результатов в качестве основы испытательного стенда использовался электродинамический вибростенд DataPhysics GW-V400LT/DSA1-2K, позволяющий осуществлять виброн нагружение консольно закрепленного образца на резонансной частоте с заданной величиной виброускорения. Структурная схема стенда приведена на рис. 3.



Рис. 2. Алгоритм испытания на циклическую прочность

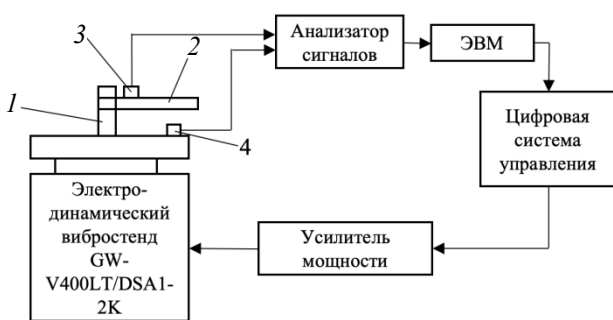
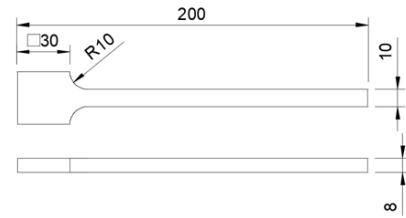


Рис. 3. Структурная схема стенда:

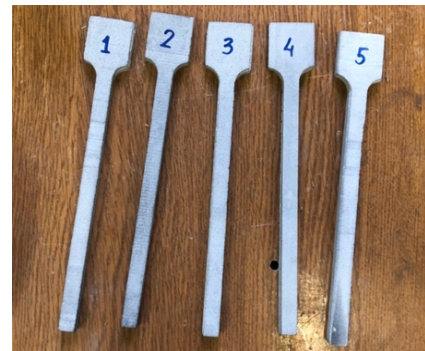
1 – оснастка; 2 – образец; 3 – вспомогательный акселерометр Kistler 8614A500M1; 4 – контрольный акселерометр Kistler 8704B10M1

На рис. 4 приведен чертеж и фотография

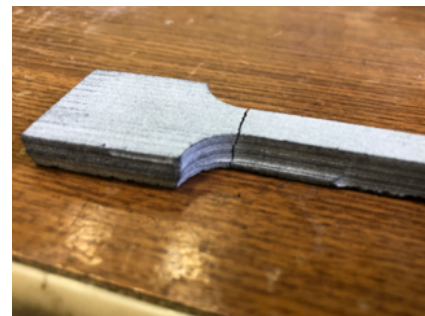
образца из ДУПКМ. Образцы были изготовлены из листового ДУПКМ толщиной 8 мм с использованием режимов обработки, приведенных в табл. 1. Состав ДУПКМ приведен в табл. 2.



а)



б)



в)

Рис. 4. Образцы для испытания на циклическую прочность:

а – чертеж; б – подготовленные образцы; в – образец после испытания

Образцы последовательно фиксируются с использованием оснастки, смонтированной на платформе вибростенда. Сигналы с контрольного (установленного на столе стенда) и вспомогательного (на испытуемом образце) акселерометров регистрируются управляющим программным обеспечением, которое, с учетом полученных данных, управляет параметрами вибронагружения. Крепление акселерометров осуществлялось согласно ГОСТ ИСО 5348-2002. Местоположение акселерометров фиксировано.

1. Режимы резания образцов из ДУПКМ

Метод обработки	Параметр	Значение
ГАР	Подача S	2 м/мин
	Давление p	2000 атм.
	Концентрация абразива c	21 %
Фрезерование	Подача S	1,0 м/мин
	Скорость резания v	2,5 м/с
	Глубина резания	8 мм
	Тип инструмента	Алмазная концевая фреза $\varnothing 6$ мм

2. Состав исследуемого ДУПКМ

Тип компонента	Компонент	Массовое содержание
Связующее	Ненасыщенная ортофталевая полиэфирная смола А202РМС	20 %
Наполнитель	Кварцевый песок ПФ 0,1 - 0,3	28 %
	Кварцевый песок ПФ 0,2 - 0,63	40 %
	Кварц молотый пылевидный (ГОСТ 9077-82)	12 %

На рис. 5 приведена фотография установленного образца.

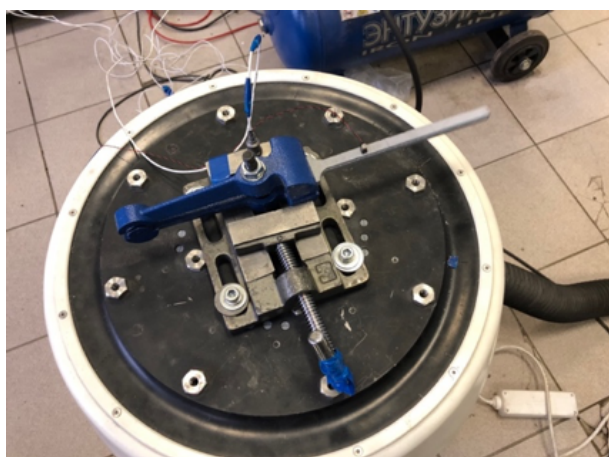


Рис. 5. Образец, закрепленный в оснастке с установленным акселерометром

В процессе испытаний в автоматическом режиме регистрируется количество циклов до разрушения и/или смещения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) за заданное число циклов. Перед испытаниями образцов определялась амплитуда перемещения S_0 , при которой среднее время разрушения образцов на собственной резонансной частоте составляло 45 мин. Такой временной промежуток является наиболее комфортным для фиксации данных оператором при разбросе прочностных свойств образцов. Значение амплитуды перемещения в точке установки вспомогательного датчика равно $S_0 = 3$ мм (соответствует 3g).

На первом этапе испытаний методом качающейся частоты в диапазоне от 10 до 250 Гц производится экспериментальное определение собственной частоты каждого образца первого тона $F_{рез}$ (рис. 6), на которой будет производиться испытание. Значение амплитуды ускорения стола стэнда 1 g.

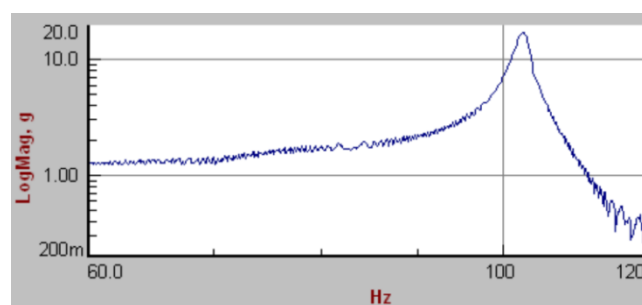


Рис. 6. Характерная АЧХ образца

Затем определяется величина вибрационного ускорения A , обеспечивающего заданную амплитуду перемещения S_0 в фиксированном для всех образцов месте установки вспомогательного акселерометра. Это позволяет нивелировать действие таких факторов, как качество фиксации образца в оснастке и незначительный разброс линейных размеров образцов.

На третьем этапе производится вибронегружение консольно закрепленного образца с частотой $F_{рез}$. При этом производится регистрация смещения АЧХ каждые $n_d = 1000$ циклов. При разрушении образца регистрируется число циклов до разрушения $N_{разр}$. Испытания проводятся для каждого образца обеих групп.

Результаты испытаний

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены в табл. 3.

3. Результаты испытаний

Метод обработки	$F_{рез}$, Гц	$N_{разр}$, циклов	Смещение резонансной частоты $\Delta F_{рез}$, Гц/1000 циклов
Фрезерование алмазной фрезой	105,6±8,1	260827±31581	0,1035±0,0134
Гидроабразивное резание (ГАР)	112,3±5,4	319767±35772	0,0843±0,0091

Было установлено, что образцы, полученные с помощью ГАР, демонстрируют более высокую усталостную прочность (в среднем на 22,6%), чем у полученных традиционным методом фрезерования алмазным инструментом. При этом резонансная частота образцов, полученных с помощью ГАР, была также выше в среднем на 6,3%, что может быть связано с большим количеством дефектов, возникающих при фрезеровании. Регистрация дрейфа резонансной частоты показала, что динамика данного смещения (отнесенная на количество циклов) более высокая в случае обработки фрезерованием, что также подтверждает гипотезу о более высокой концентрации дефектов при данном методе обработки. Помимо прочего наблюдалось снижение значения собственной резонансной частоты за 20...40 тысяч циклов до разрушения образца.

Выводы

Разработана методика, формализованная в виде алгоритма, позволяющая осуществлять ускоренные сравнительные испытания на усталостную прочность образцов из ДУПКМ. Результаты исследования с использованием данной методики подтвердили более высокую циклическую прочность образцов, изготовленных с использованием ГАР, по сравнению с образцами, полученными фрезерованием. Таким образом, ГАР может рассматриваться в качестве перспективного метода механической обработки, являющейся альтернативой традиционному методу фрезерования алмазным инструментом, позволяющему повысить производительность механической обработки и снизить термическую нагрузку на материал, что приведет к повышению прочностных характеристик получаемых деталей и, как следствие, надежности конечного изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Нотин, И.А.** Проблемы конструкторско-технологического проектирования изделий машиностроения на основе дисперсно-упрочненных полимерных композиционных материалов // Известия вузов. Машиностроение. – 2018. – №12 (705). – С. 10-19.
2. **Нотин, И.А.** Повышение эффективности подготовительного этапа изготовления деталей машин из дисперсно-упрочненных полимерных композиционных материалов // Научные технологии в машиностроении. – 2018. – № 9(87). – С. 3-8.
3. **Рогов, В.А., Позняк, Г.Г.** Технология машиностроения. Штамповочное и литейное производство: учебник для СПО; – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 330 с.
4. **Reis, João Marciano Laredo dos.** (2012). Effect of temperature on the mechanical properties of polymer mortars. *Materials Research*, 15(4), 645-649. Epub August 07, 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000091>
5. **Pratesh Jayaswal and Nidhi Gupta.** An investigation of tool condition monitoring // *International Journal of Engineering Science and Technology*. –2012. – Vol. 4. –№ 8. – pp. 3858-3865.
6. **Шалаев, В.А.** Механическая обработка сварных соединений. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 88 с.

REFERENCES

1. Notin, I.A. Problems in technological design of engineering parts based on dispersion- strengthened polymeric composites // *College Proceedings. Mechanical Engineering*. – 2018. – No.12 (705). – pp. 10-19.
2. Notin, I.A. Effectiveness increase of pre-production stage of parts made of dispersion- strengthened polymeric composites // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.9(87). – pp. 3-8.
3. Rogov, V.A., Poznyak, G.G. *Engineering Technique. Die Forming and Foundry Work*: textbook for SVE; 2-d edition revised and supplemented. – М.: Yureight Publishers, 2019. – pp. 330.
4. Reis, João Marciano Laredo dos. (2012). Effect of temperature on the mechanical properties of polymer mortars. *Materials Research*, 15(4), 645-649. Epub August 07, 2012. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000091>
5. Pratesh Jayaswal and Nidhi Gupta. An investigation of tool condition monitoring // *International Journal of Engineering Science and Technology*. –2012. – Vol. 4. –№ 8. – pp. 3858-3865.
6. Shalaev, V.A. *Welded Joint Machining*. – М.: Bauman STU of Moscow, 2005. – pp. 88.

Рецензент д.т.н. А.Л. Галиновский