

М. В. МАРГУЛИС, Я. О. ГОРДИЕНКО

РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНОЙ ВЫСОКОЭКОНОМИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРЕЦЕССИОННЫХ ПЕРЕДАЧ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

В работе уделено особое внимание снижению затрат на производство волновых прецессионных передач с телами качения (ВППТК) за счет снижения производственного цикла изготовления изделия и повышению конкурентоспособности изделия за счет повышения его качества (КПД, точность, долговечность, безотказность) при применении прогрессивной технологии изготовления. Приведены рекомендации по выбору материалов для основных звеньев ВППТК и их термической обработки.

Ключевые слова: волновая прецессионная передача, периодическая дорожка качения, тело качения, качество, производственный цикл, высокоскоростная обработка.

М. В. МАРГУЛИС, Я. О. ГОРДИЕНКО

РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОЇ ВИСОКОЕКОНОМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРЕЦЕСІЙНИХ ПЕРЕДАЧ З ТІЛАМИ КОЧЕННЯ

В роботі приділено особливу увагу зняттю витрат на виробництво хвильових прецесійних передач з тілами кочення (ХППТК) за рахунок зниження виробничого циклу виготовлення виробу і підвищення конкурентоспроможності виробу за рахунок підвищення його якості (ККД, точність, довговічність, безвідмовність) при застосуванні прогресивної технології виготовлення. Наведено рекомендації щодо вибору матеріалів для основних ланок ВППТК і їх термічної обробки.

Ключові слова: хвильова прецесійна передача, періодична дорожка кочення, тіло кочення, якість, виробничий цикл, високошвидкісна обробка.

M. V. MARGULIES, Y. O. GORDIENKO

THE DEVELOPMENT OF THE HIGH-EFFICIENCY PROCESS OF MANUFACTURING OF HARMONIC PROCESSIONAL DRIVES WITH ROLLING ELEMENTS

In the work there is a lot of attention paid to the reduction of the productions costs of harmonic processional drives with rolling elements (HPDRE) due to reduction of the manufacturing cycle and increase of the product competitiveness because of the increase of the product quality (efficiency ratio, accuracy, life time, reliability) when the progressive production technology is applied. The recommendations are given on material selection for main parts of harmonic processional drives with rolling elements and their heat treatment. High-performance processing of specific details of HPDRE with the use of high-speed processing technology for HSM was proposed. Technological machining transitions of HSM for the main parts of HPDRE were developed.

Keywords: harmonic processional drive, periodic race groove, rolling element, quality, manufacturing cycle, high speed machining.

Введение. Актуальность задачи. Известно, что главной целью предпринимательской деятельности является превышение финансовых результатов над затратами, т.е. получение наибольшей возможной прибыли при реализации создаваемых изделий.

В условиях рыночных отношений имеется три основных источника получения прибыли: за счет монопольного положения предприятия по выпуску конкретной продукции; за счет производственной и коммерческой деятельности; за счет инновационной деятельности.

В сфере механической обработки существуют различные концепции сокращения длительности производственного цикла с целью снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности изделий за счет сокращения подготовительно-заключительного времени, времени установки заготовок, длительности цикла механической обработки (непосредственно резания) и контроля геометрических параметров.

В работе мы остановимся на концепции высокоскоростной обработки (High Speed Machining, далее по тексту HSM), направленной на снижение длительности цикла механической обработки, и современной прогрессивной технологии изготовления основных деталей ВППТК с применением HSM.

В мировом станкостроении в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция создания станков, предназначенных для HSM обработки. Достижения в области технологии создания режущего инструмента позволили эффективно применять HSM обработку в различных отраслях. Технология САМ (Computer-aided manufacturing – автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный

для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ) сегодня бурно развивается, чтобы удовлетворить специфические потребности в создании новых стратегий движения инструментов для HSM, что значительно снижает производственный цикл изготовления изделий.

Технология HSM относится к числу наиболее прогрессивных и быстро развивающихся. Вместе с тем, этот вид обработки резанием является относительно новым технологическим процессом, и опыт его исследования в Украине весьма ограничен. HSM обработка по сравнению с обычным резанием, позволяет увеличить эффективность, точность и качество механообработки. Ее отличительная особенность – высокая скорость резания, при которой значительно увеличивается температура в зоне образования стружки, материал обрабатываемой детали становится мягче, и силы резания уменьшаются, что позволяет инструменту двигаться с большой рабочей подачей. Эффект HSM обуславливается структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций, осуществляемых с большой скоростью) в месте отрыва стружки. При повышении скорости деформаций материала силы резания первоначально растут, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают существенно снижаться. Время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой так мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент не успевают нагреваться [1–3].

Высокая точность перемещений элементов резания станка в сочетании с высокой точностью инструмента делает возможным проведение прецизионной

обработки деталей с высочайшим качеством обработанной поверхности, прежде недоступным для фрезерования или точения, и тем самым отказаться от финишных операций – шлифования или электроэрозионной обработки детали. Таким образом, суммарный эффект от HSM выражается не только в ускорении процесса резания, но и в сокращении числа технологических операций, что еще больше увеличивает производительность и снижает конечную стоимость детали.

Преимущества HSC признанные на мировом уровне:

- максимальная производительность;
- качество обработанной поверхности сравнимо со шлифованием;
- комплектная обработка детали с одного станова;
- сокращение времени производственного цикла на 50 % и более.

При изготовлении основных деталей сложной конфигурации для ВППТК рационально применение HSM обработки.

Выбор материалов, термической обработки и заготовок основных звеньев силовых ВППТК. По принципу передачи рабочих нагрузок основными рабочими звеньями ВППТК (по периодическим дорожкам качения (ПДК) прецессионного и промежуточного колес) наиболее близки к подшипникам качения. Это предопределяют выбор материалов с необходимыми механическими свойствами, уровнем твердости, качества поверхности, обрабатываемости резанием.

Каждый участок ПДК и тела качения (ТК) при работе испытывает многократную контактную нагрузку, распределяющуюся в пределах очень небольшой опорной поверхности. В результате в каждом участке ПДК возникают местные объемные контактные знакопеременные напряжения, сжимающие на поверхности контакта и растягивающие у ее контура. Рабочие нагрузки вызывают упругую и незначительную остаточную контактную деформации элементов ПДК и ТК [4].

Многократное повторение деформаций может привести к появлению усталостных трещин и выкрашиванию поверхности ПДК и ТК, вследствие чего могут появляться ударные нагрузки, которые способствуют последующему разрушению контактирующих поверхностей.

Помимо усталостного разрушения ПДК и ТК подвергаются истиранию. Причиной истирания являются тангенциальные напряжения, вызываемые силами трения при проскальзывании ТК в процессе качения по траекториям различной длины сопряженных ПДК прецессионного и промежуточного колес. В результате истирания от контактирующих поверхностей отделяются тонкие металлические чешуйки, усиливающие их абразивный износ.

Величина (площадь и глубина) истирания зависит от точности изготовления и сборки передачи, условий её нагружения, смазки и наличия в ней абразивных частиц. При интенсивном истирании поверхностные слои контактирующих поверхностей ПДК и ТК могут изнашиваться настолько быстро, что в них не успевают появиться усталостные трещины. В этом случае передача выйдет из строя еще до усталостного разрушения [4].

В соответствии с изложенным, свойства материалов основных деталей ВППТК должны обладать высокой упругостью и высоким сопротивлением усталости, отличаться высокой износостойкостью и прочностью. Так как детали ВППТК работают, соприкасаясь

отдельными точками рабочих поверхностей – особое значение для материала приобретает физико-химическая однородность и чистота по неметаллическим включениям. Наличие в металле заготовки скоплений твердых карбидов, неметаллических включений, волосяных, трещин и других концентраторов напряжений может вызвать быстрый износ отдельных участков поверхности ПДК и преждевременный выход из строя механизма.

На выбор материалов оказывают существенное влияние так же размеры передачи и технологические возможности предприятия-изготовителя.

В качестве материала для изготовления основных деталей ВППТК (прецессионного и промежуточного колес) рекомендуется использование наиболее изученных подшипниковых сталей ШХ15 и ШХ15СГ ГОСТ 801. Повышенное содержание кремния и марганца в стали ШХ15СГ увеличивает глубину прокаливаемости, и, следовательно, её целесообразно использовать для более крупных передач (с диаметром тел качения от 40 мм).

Высокое содержание углерода в подшипниковых сталях обеспечивает им после термической обработки высокую прочность и стойкость против истирания, а также поверхностную твердость. Твердость внутренних слоев зависит от глубины прокаливаемости, зависящей в свою очередь от содержания хрома. После закалки и последующего низкого отпуска твердость деталей, изготовленных из подшипниковых, сталей составляет HRC 62–67 [5].

Недостатком деталей, изготовленных из подшипниковых сталей, является пониженная обрабатываемость резанием. Для их обработки требуются высокие угловые скорости при резании. Этот факт накладывает прочностные требования на оборудование, т.к. опоры шпинделя должны выдерживать действующие во время резания нагрузки.

Низкоуглеродистые стали обладают лучшей обрабатываемостью резанием и позволяют производить обработку при меньших угловых скоростях. Однако, эти стали являются сравнительно мягкими, а закалка их оказывается невозможной из-за очень высокой критической скорости закалки. Поэтому после изготовления деталей из таких сталей они подвергаются цементации на глубину до 8 мм с последующей закалкой и низким отпуском.

Цементируемые стали также рекомендуется применять для передач, подверженным ударным нагрузкам [6].

Учитывая изложенное, рекомендуемыми для основных деталей ВППТК цементируемыми сталями являются: 20Х2Н4А, 18ХГТ, 20ХГТ ГОСТ 4543.

Все вышеописанные методы термической обработки и соответствующие им материалы предусматривают наличие возможности окончательной механической обработки после термообработки, так как детали, проходящие закалку, как правило, подвергаются короблению и на поверхностях образуется окалина.

При механической обработке ПДК, выполненных по криволинейным траекториям, наиболее технологически сложной является операция шлифования. На станках с ЧПУ, способных реализовать движение режущего инструмента по необходимой траектории, как правило, недостаточна частота вращения шпинделя для обеспечения необходимой для шлифования скорости резания. Необходимо применение современных высокопроизводительных обрабатывающих центров, либо применение высокоскоростных электрошпинделей,

обеспечивающих возможность встраиваемости их в готовые системы, что влечет за собой модернизацию оборудования и связанные с ней материальные затраты.

С целью снижения себестоимости изготовления передач при единичном и мелкосерийном производствах целесообразно ограничить или полностью исключить применения специфического технологического оборудования, необходимого для выполнения финишной операции шлифования для ПДК. Для её исключения необходимо минимизировать, а лучше полностью исключить коробление и образование пригара на поверхностных деталях при термообработке.

Известно, что поверхностная индукционная закалка обеспечивает минимальное коробление и почти полное отсутствие окалины, дает возможность закалки только ПДК и при этом остальную часть детали процесс закалки не затрагивает. Для закалки ТВЧ рекомендуется применение сталей с содержанием углерода 0,4–0,5 %. Эти стали после закалки имеют поверхностную твердость HRC 55–60. При меньшем содержании углерода такая твердость уже не достигается, а при большем содержании возникает опасность появления трещин. Применение закалки ТВЧ рекомендуется также для деталей, в которых важна вязкость сердцевин (детали подверженные значительным изгибающим, крутящим и контактными напряжениями). Рекомендуемые материалы: 40X, 40XH, 45XH, 40XH2MA и др. [6].

Закалка ТВЧ, уменьшая, все же не исключает полностью коробление поверхности детали, поэтому необходимо применять другие методы повышения поверхностной твердости ПДК основных звеньев ВППТК, исключающие коробление поверхности.

Методом, исключающим коробление, является азотирование – химико-термическая обработка, при которой поверхностные слои насыщаются азотом. При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость и отсутствует коробление детали. Азотированию подвергают готовые детали, уже прошедшие механическую и окончательную термическую обработку (закалку с высоким отпуском).

Недостатками процесса азотирования являются: чрезмерная длительность процесса, продолжающегося до 50 часов, иногда до 100 ч и необходимость применения специальных легированных сталей для увеличения глубины закалки, невысокая глубина закаленного слоя (0,2–0,8 мм) [6].

В работах С. В. Пинегина [4] указано, что одной из причин, вызывающих разрушение на поверхностях контакта являются знакопеременные касательные напряжения, развивающиеся на некоторой глубине под поверхностью контакта, значения которой зависят от диаметра тела качения. Теоретически эта глубина должна составлять примерно 2,5 % от диаметра ТК.

В расчетах глубины закалки (после цементации, азотирования, закалки ТВЧ) поверхностного слоя необходимо учитывать величины касательных напряжений, развивающихся под контактной площадкой. На основании данных, приведенных С. В. Пинегиным, принимаем, что глубина твердого поверхностного слоя должна достигать от 3,5 до 5 % от диаметра тела качения.

С учетом изложенного можно сделать вывод о том, что азотирование рационально применять только для передач, у которых диаметры тел качения не более 16 мм.

Рекомендуемые материалы для изготовления прецессионного и промежуточного колес, а также режимы их термической обработки приведены в табл. 1.

Для колес разработанной нами передачи, исходя из технологических возможностей предприятия-изготовителя, нами применена сталь 40X, и химико-термическая обработка – азотирование.

Одним из основополагающих принципов выбора заготовки является ориентация на такой способ изготовления, который обеспечит максимальное приближение её конфигурации к размерам готовой детали. Выбор вида и способа получения заготовки производится в зависимости от типа производства, материала, габаритных размеров и конфигурации, а также служебного назначения и технических требований.

Таблица 1 – Рекомендуемые материалы прецессионного и промежуточного колес ВППТК

Диаметр тел качения	Марка материала	Вид термообработки	Характеристика поверхностного слоя	
			Твердость HRC	Глубина, мм
13–40	ШХ15	Закалка Отпуск	58–62	2,0–4,5
41–71	ШХ15СГ	Закалка Отпуск	60–64	6–12
<40	18ХГТ 12ХН3А 20ХН3А 20Х2Н4А	Цементация Закалка Отпуск	56–63	2–4
<40	40X 40XH 45XH 40XH2MA	Закалка ТВЧ Отпуск	45–55	2–4
<13	40X 40XH 45XH 40XH2MA	Закалка Отпуск Азотирование	HV 850–1050	0,5–0,6
<16	38X2МЮА 38ХВФЮА 38X2ЮА 38ХВФЮ	Закалка Отпуск Азотирование	HV 850–1050	0,6–0,8

В условиях единичного производства, с учетом выбранных материалов, для изготовления основных деталей разработанного нами механизма использовались заготовки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Примененные материалы, заготовки и вид термообработки для основных деталей разработанного механизма

№	Наименование	Заготовка и материал	Термообработка
1	Колесо прецессионное	Труба 180×45 ГОСТ 8732 / 40X ГОСТ 8731	Закалка + отпуск HV 280–320; Азотирование HV 850–1050
2	Колесо промежуточное	Труба 203×25 ГОСТ 8732 / 40X ГОСТ 8731	Закалка + отпуск HV 280–320; Азотирование HV 850–1050
3	Колесо промежуточное	Труба 203×50 ГОСТ 8732 / 40X ГОСТ 8731	Закалка + отпуск HV 280–320; Азотирование HV 850–1050

Технология механической обработки основных деталей ВППТК. Для минимизации погрешностей, возникающих при обработке основных деталей разработанной ВППТК, использовались принципы

совмещения и единства баз и оборудование, обеспечивающие обработку детали на одной операции без переустановок по HSM технологии.

Обработка проводилась на токарно-фрезерном станке для 6-сторонней комплексной обработки CTX gamma 2000 TC компании DMG MORI – рис. 1, оснащенного режущим инструментом шведской компании Sandvik.



Рис. 1 – Станок DMG MORI CTX gamma 2000 TC

Применяемый станок оснащен главным шпинделем (4000 об/мин), токарно-фрезерным шпинделем (12000 об/мин) и инструментальным магазином на 36 позиций.

Обработка каждой детали выполнялась в три этапа: черновая обработка, получистовая обработка и чистовая обработка.

Так как все применяемые заготовки имеют свои допуски на размеры, форму и расположение поверхностей, то черновая обработка выполнялась в несколько этапов – вначале на заниженных режимах снимался только верхний слой припуска заготовки, который полностью охватывал указанные допуски с запасом снимаемого припуска не более 20 % (что бы учесть возможную погрешность установки заготовки). Затем, при последующих переходах черновой обработки режимы резания повышались и проводилось удаление основного объема материала. Это вызвано тем, что часто меняющаяся динамическая нагрузка, вызванная неравномерностью снимаемого припуска, отрицательно влияет на качество обработки и на стойкость инструмента.

Получистовая обработка обеспечивает получение равномерного припуска на последующую чистовую обработку, обеспечивающего равномерность нагрузки на инструмент. Такое "упрощение" условий чистовой обработки позволяет существенно увеличить скорость обработки и достичь высокого качества обработанной поверхности.

Чистовая обработка – финальное удаление равномерного припуска, оставшегося после получистовой обработки. Использование малых шагов и глубин резания позволило снизить нагрузку на инструмент и достичь высокой точности и качества поверхности.

При разработке управляющих программ для обработки ПДК колес передачи с обеспечением заданного качества поверхностей необходимо было реализовать выполнение ряда требований. Одно из наиболее важных требований – обеспечение плавности траектории режущего инструмента, исключаяющей резкие изменения направления его движения, перед которыми производится торможение, а затем – разгон шпинделя с инструментом. Частые разгоны и торможения приводят к тому, что не удается получить оптимальную подачу, замедляется обработка и ухудшаются условия резания.

Второе важное требование к траектории обработки – сохранение постоянной нагрузки на инструмент на протяжении всей траектории. Часто меняющаяся динамическая нагрузка, как указывалось ранее, влияет на качество обработки и на стойкость инструмента.

На участке траектории врезания инструмента в материал, где постоянство нагрузки невозможно, обеспечение плавности нарастания нагрузки на инструмент достигается использованием наклонной траектории. На протяжении остальной траектории обработки постоянство нагрузки достигается сохранением постоянного угла охвата инструмента материалом. Указанные меры позволяют улучшить качество и повысить скорость обработки в целом. Кроме того, снижается вероятность поломки инструмента и увеличивается его стойкость.

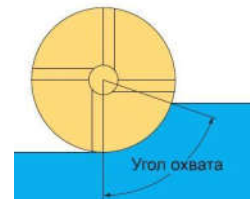


Рис. 2 – Угол охвата инструмента материалом

На рис. 3 приведены схемы механической обработки прецессионного колеса ВППТК по инструментальным переходам с одного установка на станке CTX gamma 2000 TC:

- a* – установка заготовки на станок;
- б* – точение канавки для выхода инструмента;
- в* – черновое точение наружной цилиндрической поверхности (обдирка);
- г* – подрезка торца заготовки;
- д* – получистовая и чистовая обработка наружной сферической поверхности;
- е* – черновое растачивание отверстия (обдирка);
- ж* – получистовое и чистовое фрезерование посадочных поверхностей под подшипник 1;
- з* – получистовое и чистовое фрезерование посадочных поверхностей под подшипник 2;
- и* – получистовое и чистовое фрезерование ПДК;
- к* – отрезка детали.

Преимущества применения новой технологии при изготовлении основных деталей ВППТК.

1. Время механической обработки сокращается в 4,5 раза (по сравнению с разработанной ранее технологией [7], когда обработка колес передачи выполнялась на токарном – РТ-755Ф3 и фрезерном – Neckert С500 станках с ЧПУ), что в итоге позволяет снизить цикл изготовления изделия в 2 и более раз. Зачастую, именно возможность поставки продукции в наиболее сжатые сроки является залогом победы поставщика в тендере на закупку.

2. Высокое качество изготовления. Применение технологии HSM обеспечивает шероховатость поверхностей ПДК на уровне Ra 0,8...Ra 0,9, при ранее достижимой не лучше Ra 2,5 (после фрезерования), что снижает потери на трение при работе механизма, и, следовательно, повышает КПД. Комплексная обработка детали с одной установки на одном оборудовании исключает погрешности базирования и измерения, обеспечивает точное взаимное расположение всех рабочих поверхностей деталей, что так же сказывается на повышении эксплуатационных характеристик.

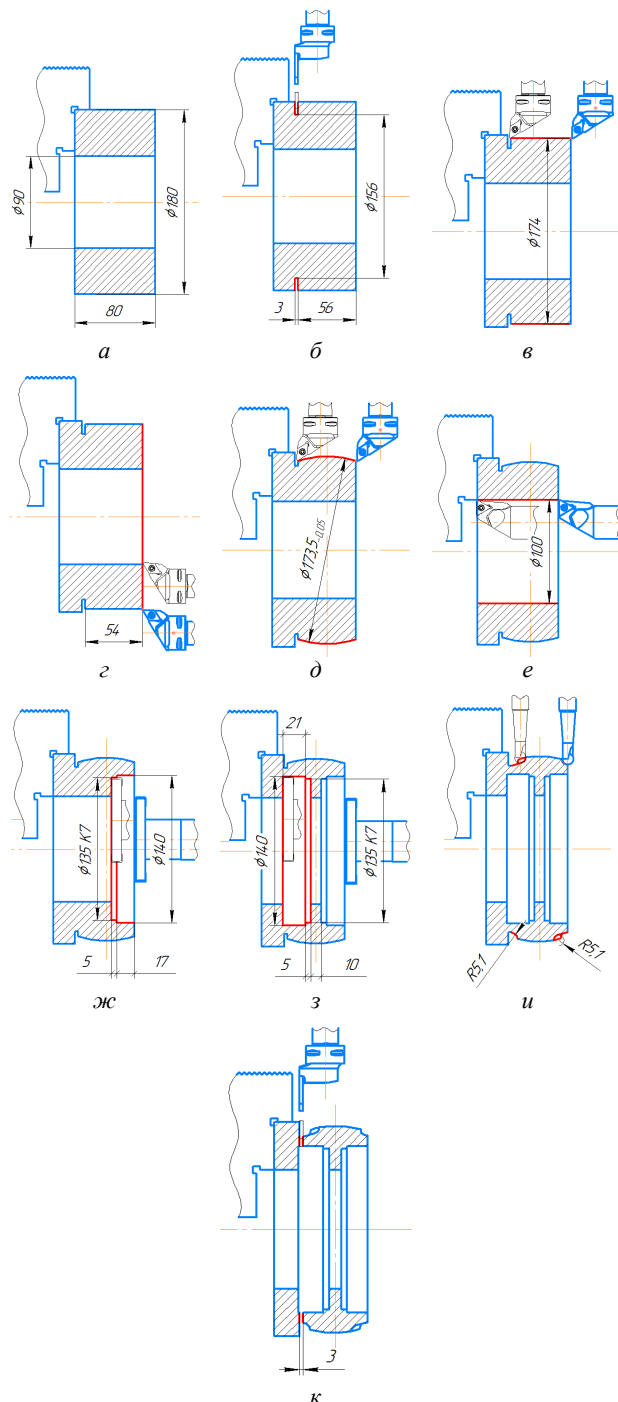


Рис. 3 – Схемы обработки при прогрессивной технологии

3. Возможность изготовления более крупных ВППТК с применением для колес механизма подшипниковых либо цементуемых сталей и закалкой рабочих поверхностей ПДК до твердости более HRC 56. Ранее эта возможность была полностью исключена,

из-за необходимости выполнения окончательной обработки ПДК после закалки. При применении новой технологии имеется возможность изготовления рациональных тяжело нагруженных ВППТК с телами качения более 16 мм.

Выводы:

1. Предложена высокопроизводительная обработка специфических деталей ВППТК с использованием технологии высокоскоростной обработки HSM, с целью повышения качества и уменьшения производственного цикла их изготовления.

2. Разработаны технологические переходы механической обработки HSM основных деталей промышленного образца ВППТК.

Список литературы

1. Болотов М. А. Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка [Электронный ресурс], 2010. URL: www.ssau.ru/files/education/metod_1/Bolotov_vvobrabotka1.pdf (дата обращения 12.05.2018).
2. Высокоскоростная обработка [Электронный ресурс]. URL: <http://insoftmach.ru/HSC.html> (дата обращения 12.05.2018).
3. *Высокоскоростная обработка* [Электронный ресурс]. URL: http://arm.tpu.ru/docs/UMO/krauinjsh_dp/aupis/lk_18_aupis.pdf (дата обращения 12.05.2018).
4. Пинегин С. В. *Контактная прочность и сопротивление качению*. М.: Машиностроение, 1969. 244 с.
5. Зубченко А. С., Колосков М. М., Каширский Ю. В. и др. *Марочник сталей и сплавов*. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.
6. Лахтин Ю. М., Рахштадт А. Г. *Термическая обработка в машиностроении: Справочник*. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
7. Маргулис М. В., Шведун Е. С. Разработка прогрессивной технологии изготовления прецессионного колеса волновой передачи с промежуточными телами качения и измерительного устройства для контроля качества поверхности. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Харьков: НТУ "ХПИ". 2012. № 35. С. 86–92.

References (transliterated)

1. Bolotov M. A. *Vysokoskorostnaja i vysokoproizvoditel'naja obrabotka* [High-speed and high-performance machining]. 2010. URL: www.ssau.ru/files/education/metod_1/Bolotov_vvobrabotka1.pdf (access date 12.05.2018).
2. *Vysokoskorostnaja obrabotka* [High-speed and machining]. URL: <http://insoftmach.ru/HSC.html> (access date 12.05.2018).
3. *Vysokoskorostnaja obrabotka* [High-speed and machining]. URL: http://arm.tpu.ru/docs/UMO/krauinjsh_dp/aupis/lk_18_aupis.pdf (access date 12.05.2018).
4. Pinegin S. V. *Kontaktnaja prochnost' i soprotivlenie kacheniju* [Contact strength and rolling resistance]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 244 p.
5. Zubchenko A. S., Koloskov M. M., Kashirskij Ju. V. i dr. *Marochnik stalej i splavov* [Database of steels and alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 784 p.
6. Lahtin Ju. M., Rahshtadt A. G. *Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii: Spravochnik* [Heat treatment in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 783 p.
7. Margulis M. V., Shvedun E. S. *Razrabotka progressivnoj tehnologii izgotovlenija precessionnogo kolesa volnnoj peredachi s promezhutochnymi telami kachenija i izmeritel'nogo ustrojstva dlja kontrolja kachestva poverhnosti* [Working out of advanced manufacturing technology for precessional wheel of wave gear with intermediate bodies of the rolling and measuring device for surface quality control]. *Vestnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the NTU "KhPI"]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 35, pp. 86–92.

Поступила (received) 14.06.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Маргуліс Михайло Володимирович (Маргулис Михаил Владимирович, Margulies Michael Vladimirovich) – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, Приазовський державний технічний університет, професор кафедри "Технологія машинобудування"; м. Маріуполь, Україна; тел.: +38-098-531-55-47.

Гордієнко Ярослав Олегович (Гордиенко Ярослав Олегович, Gordienko Yaroslav Olegovich) – Товариство з обмеженою відповідальністю "МАГМА", інженер-конструктор І-ї категорії; м. Маріуполь, Україна; тел.: +38-097-224-35-24; e-mail: extremo1981@gmail.com