

К 90-летию со дня рождения
профессора М.И. Разикова

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО ИЗНОСОСТОЙКОСТИ МАШИН

В.А. Коротков

Проведен обзор работ, относящихся к исследованиям в области наплавки и плазменной закалки в 50–80-е годы прошлого века в Уральском политехническом институте и его Нижнетагильском филиале. Показано, что успехи в научных исследованиях побудили к включению в учебные планы сначала курса для сварочной специальности «Основы износостойкой наплавки», а затем – общепрофессиональной дисциплины «Износостойкость машин», преподавание которой в вузах рекомендуется при обучении проектированию и производству машин с учетом предупреждения не только поломок, но и быстрого изнашивания.

Ключевые слова: наплавка, плазменная закалка, износостойкость машин.



**Михаил Иванович
Разиков
(1922–1975 гг.)**

Введение

В 50-е годы прошлого века началось интенсивное развитие сварочных технологий, которые использовали не только по прямому назначению, но и для восстановления изношенных деталей машин. На кафедре сварки Уральского политехнического института (ныне – Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина) в этом направлении начал работать М.И. Разиков.

Профессор Уральского политехнического института Михаил Иванович Разиков (1922 – 1975)

в 1947 г. окончил УПИ, в 1952 г. защитил кандидатскую, а в 1964 г. – докторскую диссертации; входил в состав Координационного совета по сварке при ЦК КПСС.

Исследования износостойкости наплавки

В 1968 г. при УПИ им организована Отраслевая лаборатория наплавки (ОЛН) Министерства цветной металлургии СССР, получившая известность как Уральская школа наплавщиков. М.И. Разиков проводил исследования в области наплавки в углекислом газе. Этот способ, разработанный в ЦНИИТмаш в 1952 г., тогда был мало известен, однако позволял восстанавливать наплавкой внутренние поверхности деталей, недоступные для восстановления более известным способом – наплавкой под флюсом. Результаты проведенных М.И. Разиковым исследований были опубликованы в монографии [1] и позволили приступить к восстановлению изношенного прессового инструмента (матриц, втулок, колец) для обработки цветных металлов.

Первые опыты проводили наплавочными проволоками с таким же химическим составом, как состав основного металла прессового инструмента, т.е. с составом, типичным для штамповых сталей 3Х2В8, 4Х5МФС. Наплавленный

инструмент не уступал по сроку службы вновь изготовленному, а его изготовление было существенно дешевле.

В институте функционировала Проблемная лаборатория металловедения (руководитель – профессор И.Н. Богачев), в которой, решая задачу снижения кавитационного износа лопастей гидротурбин нового поколения, в результате применения принципиально новой стали (30X10Г10, класса нестабильного аустенита) добились увеличения стойкости инструмента в десятки раз. В своих разработках М.И. Разиков также использовал принципиально новые материалы. Для восстановления прессового инструмента разработали порошковую проволоку ПП-НХВ 65-20-6 на никелевой основе, с эффектом высокотемпературного дисперсионного твердения. Сплавы этого типа только начали появляться в промышленности и применялись в опытном производстве при изготовлении газотурбинных лопаток. Результат оправдал ожидания: срок службы наплавленного инструмента увеличился более чем в 10 раз [2]. Впоследствии этот новаторский подход к разработке новых наплавочных материалов, применяемый в ОЛН, не раз приносил успех. Так, применение проволоки ПП-0Н4М2Д2Ю увеличило стойкость валков горячей прокатки в 8 раз [3], а применение проволоки ПП-07Н6К14М13СТ – стойкость валков холодной прокатки в 5 раз [4].

Особого внимания заслуживает разработка наплавочного материала для условий абразивного изнашивания. Добиться прогресса здесь представлялось маловероятным. В ИЭС им. Е.О. Патона было исследовано более 100 марок наплавочных материалов для условий абразивного изнашивания, приобретенных на крупнейшей международной сварочной выставке в Эссене. Однако оказалось, что их все можно свести к 3–4 типам хорошо известных высокохромистых сталей (чугунов). Тем не менее, ОЛН под руководством профессора М.И. Разикова сумела разработать новый, более износостойкий наплавочный материал. Часть углерода и хрома в типовой высокохромистой стали была замещена элементами, создающими дисперсионное упрочнение. Новый материал (ОЛН-20), сохранив в структуре износостойкие частицы, приобрел способность сопротивляться износу микроотколами, в результате чего увеличилась его износостойкость [5]. Ведущий производитель наплавочных материалов в СССР Торезский завод внес новую проволоку

в свою номенклатуру. В настоящее время ее под различными фирменными названиями выпускают предприятия России и Украины.

Чтобы разрешить проблему быстрого изнашивания лопастей гидротурбин, в 1962 г., вышло Постановление Совета Министров СССР № 921, которое предписывало приступить к серийному производству листа, проволоки и электродов из стали 30X10Г10, разработанной под руководством профессора И.Н. Богачева. Во исполнение Постановления под руководством М.И. Разикова были разработаны электроды Э-УПИ-30X10Г10Т и порошковая проволока ПП-25X10Г10Т. Эти материалы нашли дополнительное применение. Порошковая проволока стала использоваться для наплавки крановых колес, плунжеров гидропрессов, роликов и барабанов волочильных машин; электродами наплавлялись клапаны и седла запорной арматуры, в результате чего многократно увеличивался срок их службы [6]. Оперативное применение новых разработок в производстве – один из важных принципов М.И. Разикова. ОЛН, созданная совместным приказом Минцветмета СССР и Минвуза РСФСР от 16.02.68 в УПИ с сопутствующим финансированием научных исследований, позволяла решать масштабные задачи в рамках целого министерства. Логичным продолжением этого приказа стало включение Михаила Ивановича в состав Координационного совета по сварке при ЦК КПСС.

Функционирование ОЛН прекратилось в 1992 г. с упразднением Минцветмета СССР, финансировавшего ее. В постсоветское время из ОЛН организовали два предприятия по производству сварочно-наплавочных материалов: ЗАО «Завод сварочных материалов» (г. Березовский Свердловской обл.) и ООО «МАНЭПРЕМ» (г. Екатеринбург), которые наряду с производственной деятельностью проводили научно-исследовательские работы и активно участвовали в региональных и общероссийских выставках и конференциях.

В начале 70-х годов прошлого века один из первых аспирантов профессора М.И. Разикова, доцент И.А. Толстов, перешел на работу в Нижнетагильский филиал УПИ, где организовал научно-исследовательские работы в направлении восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей наплавкой. Благодаря преемственности работа Нижнетагильской группы оказалась успешной: было получено

финансирование Госкомитета по науке и технике СССР по приоритетным темам, опубликованы статьи, сделаны изобретения, изданы три монографии и справочник [7–10]. В постсоветское время из этой группы сформировалось инновационное предприятие ООО «Композит», работа которого отмечена Правительственной грамотой и дипломом Роспатента.

Исследования плазменной закалки

Среди разработок Нижнетагильской группы заслуживают внимания исследования в области поверхностной плазменной закалки, которая получила известность около 30 лет назад. Тогда, на рубеже 70 – 80-х годов прошлого века, в промышленности появилось достаточно много плазменных установок различного назначения. Рационализаторы и исследователи начали пытаться применять плазмотроны для поверхностной закалки.

Нижнетагильской группой для плазменной закалки модернизировались установки плазменной резки [11], аргонодуговой [12] и плазменной [13] сварки, т.е. установки, дающие дугу прямого действия, когда деталь находится под напряжением и разогревается лишь ее тонкий поверхностный слой толщиной 1 – 2 мм. Благодаря этому необходимая для закалки скорость охлаждения обеспечивается теплоотводом в ненагретое тело детали и отпадает необходимость в подаче воды на закаливаемую деталь. Поскольку небольшие размеры плазмотронов допускают ручное манипулирование, а отсутствие синхронной подачи на деталь воды не рассеивает внимания оператора, то предположили, что плазменную закалку дугой прямого действия можно осуществлять вручную. В этом случае плазмотрон, подобно кисти маляра, сможет добираться до любых участков поверхности, *что ранее было невозможно*. Однако оказалось, что даже небольшие отклонения скорости перемещения, расхода плазмообразующего газа и длины дуги от оптимальных значений приводят к оплавлению поверхности или исчезновению закаленного слоя. В связи с этим плазменную закалку дугой прямого действия долгое время не могли выполнять вручную, а производили лишь на автоматических установках, когда перечисленные параметры удавалось поддерживать на определенном уровне.

В век роботов и «безлюдных» производств задача разработки ручной технологии может

показаться неперспективной. Однако это не так. Ручные технологии благодаря универсальности демонстрируют «живучесть». В мире основной объем сварки (более 80 %) выполняется электродами или полуавтоматами, т.е. вручную. По аналогии можно предположить, что с разработкой ручной плазменной закалки объемы упрочнения деталей закалкой возрастут, поскольку в них будут включены объемы деталей, которые ранее по тем или иным причинам закалить было невозможно. Забегая вперед, отметим, что именно так и случилось. Ручная плазменная закалка увеличила номенклатуру закаливаемых деталей и разрешила ряд острых проблем на ведущих предприятиях Урала, таких как Нижнетагильский и Челябинский металлургические комбинаты, Качканарский и Высокогорский горно-обогатительные комбинаты, Серовский металлургический и Челябинский трубопрокатный заводы, корпорации «Уралвагонзавод» и «ВСМПО-Ависма» и др.

Осуществить ручную плазменную закалку удалось в 2002 г. с помощью установки УДГЗ-200, разработанной ООО «Композит». В состав установки входит источник питания, закалочная горелка-плазмотрон с блоком ее автономного водяного охлаждения и коммуникационным кабелем-рукавом (рис. 1). В качестве плазмообразующего газа используется аргон.

Сварщик горелкой-плазмотроном закаливает поверхность детали полосами шириной по 7 – 14 мм с некоторым их перекрытием. Твердость закаленного слоя – того же уровня, что и при объемной закалке, т.е. увеличивается с повышением содержания углерода в пределах 40 – 65 HRC; глубина упрочненного слоя около 1 мм. На стыках закаленных полос имеет место



Рис. 1. Установка плазменной закалки УДГЗ-200

отпускное снижение твердости, но это обстоятельство чаще всего не мешает получать положительный результат при применении плазменной закали.

Закалка осуществляется без подачи воды, за счет теплоотвода в деталь. Этот факт, а также небольшая масса установки (установка в двухкорпусном исполнении, масса каждого корпуса по 20 кг) позволяют вести закалочные работы не только в термических цехах, но и на ремонтных или монтажных площадках (рис. 2). Закалка с применением установки УДГЗ-200 не вызывает деформаций, не ухудшает шероховатости поверхности в диапазоне $Rz\ 5 - 80$, поэтому многие детали после плазменной закали эксплуатируются без финишной обработки.

Процесс закали с применением установки УДГЗ-200 может быть механизированным или автоматизированным. В последнем случае горелка закрепляется, например на каретке наплавочной установки (рис. 3) или на рабочем органе робота. Со времени разработки установ-



Рис. 2. Закалка зубчатого венца на шихтовом дворе агломерационного цеха

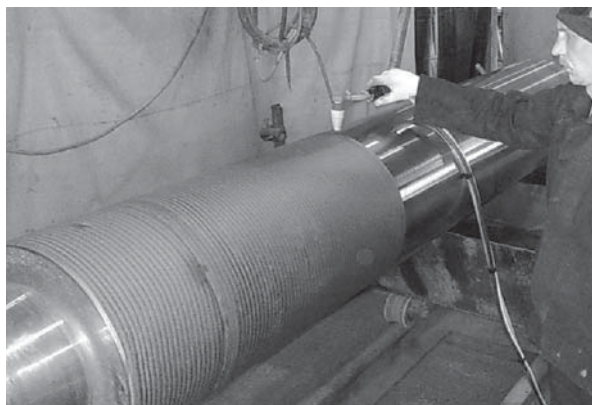


Рис. 3. Настройка закалочной горелки на автоматической установке УДГЗ-200

ки УДГЗ-200 области ее применения расширились [14 – 16].

Закалка зубчатых и шлицевых соединений. Так сложилось (вероятно из-за недостаточной осведомленности инженерной общественности в вопросах износостойкости), что оборудования, нарезающего зубчатые соединения, на предприятиях гораздо больше, чем оборудования для их упрочнения. В связи с этим часть шестерней и зубчатых колес эксплуатируется без термического упрочнения и, как следствие, они быстро изнашиваются и становятся причиной частых ремонтов. Разработанная установка УДГЗ-200 может использоваться для упрочнения зубчатых зацеплений с модулем $m \geq 5$.

С 2004 г. на Нижнетагильском металлургическом комбинате плазменной закалкой упрочняют зубчатые колеса для сталеразливочных кранов. В результате закали их твердость увеличивается от 200 до 500 НВ, а срок службы – приблизительно в 3 раза. С таким же эффектом закаливается зубчатые венцы шаровых и стержневых мельниц на Высокогорском и Качканарском ГОКах. Для корпорации «ВСМПО-Ависма» выполнена плазменная закалка шевронных зубчатых колес. В 2005 г. на Качканарском ГОКе для упрочнения приводных шестерней моторных грузовых вагонов вместо ТВЧ-закали использовали плазменную закалку. В 2005–2008 гг. число закаленных шестерней составляло 241, а в 2008–2011 гг. – всего 53. Столь существенное сокращение расходовемых приводных шестерней свидетельствует об их возросшей наработке в результате плазменной закали.

Закалка штампов. Плазменной закалкой на «Уралвагонзаводе» число расходующихся вырубных штампов уменьшено в 2,7 раза, на Челябинском трубопрокатном заводе число расходующихся чугуновых формовочных штампов – в 3 раза. В корпорации «ВСМПО-Ависма» плазменная закалка штампов применена с одновременным увеличением температуры отпуска после их предварительной объемной закали. Первая мера устранила расколы штампов, а вторая – уменьшила их износ, что в целом благоприятно отразилось на числе расходующихся штампов.

На Волжском автомобильном заводе многие штампы изготавливаются с разрезкой на небольшие фрагменты, которые закачивают с нагревом в печах, а затем фрезеровкой и шлифов-

кой подгоняют друг к другу. Для упрощения этого процесса подгонку фрагментов стали проводить в незакаленном состоянии, когда мягкий металл не вызывает затруднений при механической обработке, а затем выполнять плазменную закалку (рис. 4), которая не вызывала короблений. После сборки изготовленного штампа не требовалось дополнительной подгонки, что снизило трудоемкость изготовления штампа на 30 %, а ремонтные расходы при его эксплуатации – в 3 раза. Следовательно, износостойкость штампа после плазменной закалки выше, чем после объемной.

Примеры плазменной закалки. На Уралвагонзаводе рельсовые направляющие на автоматической линии по изготовлению колесных осей достигли почти предельного износа перед тем, как их подвергли плазменной закалке. В результате плазменной закалки интенсивность изнашивания уменьшилась на порядок.

При изготовлении валков для правки труб большого диаметра применяют ТВЧ-закалку. После возникновения износа валки протачивают на ремонтный размер, но их наработка после переточки в несколько раз снижается. Повторная ТВЧ-закалка сопровождается растрескиванием поверхности детали, поэтому ее не применяют. Плазменная закалка переточенных валков оказалась успешной. Срок их службы стал таким же, как и новых.

Плазменная закалка упрочняет обычно незакаливающиеся низкоуглеродистые стали. Так, закалка буртов подпятникового места железнодорожного вагона (сталь 20ГЛ) увеличила их твердость от 180 до 400 НВ, а пробег – в 3 раза. На Уралвагонзаводе проводятся работы по внедрению плазменной закалки деталей вагонной тележки в производство (рис. 5).

В настоящее время в ООО «Композит» работают 10 установок УДГЗ-200, с помощью которых в год подвергаются закалке детали с площадью поверхности более 500 м², и столько же установок работают на других предприятиях. В 2008 г. закалочная установка УДГЗ-200 отмечена серебряной медалью на Женевском салоне изобретений и инноваций.

Преподавание курса «Износостойкость машин»

В работе над совершенствованием наплавки профессору М.И. Разикову удалось преодолеть узкопрофильный подход. Для этого был составлен перечень видов износа ответственных дета-

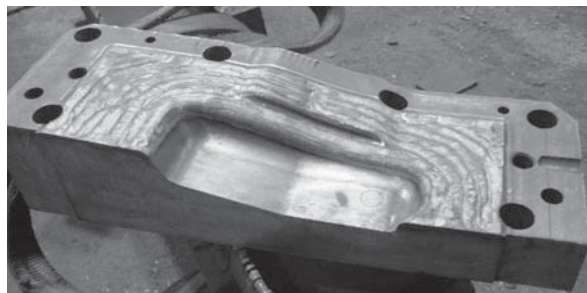


Рис. 4. Фрагмент разрезного штампа с плазменной закалкой



Рис. 5. Пятник и подпятниковое место вагонной тележки с плазменной закалкой

лей машин горно-металлургической отрасли. Для различных видов износа разрабатывались износостойкие наплавочные материалы, по которым сотрудниками УПИ защищено более 20 кандидатских диссертаций. И наконец, на предприятиях создавались наплавочные участки (более 30). Рекомендации по их организации отражены в справочнике [17].

В послевоенное время рост быстродействия и мощности машин приводил к ускоренному изнашиванию деталей, что снижало эффективность новых конструкторских разработок. В связи с этим в конце 60-х годов прошлого века в технических учебных заведениях европейских стран ввели новую дисциплину – трибологию, которая должна была вооружить будущих инженеров и техников знаниями в области трения и износостойкости. Решение очевидное, но в нашей стране Минвуз его не принял. Тогда профессор М.И. Разиков добился разрешения о преподавании на возглавляемой им кафедре металлургии сварки нового курса «Основы из-

носостойкой наплавки и напыления». Это был не простой шаг уже по тому, что повторить его сумели лишь через 17 лет (в 1989 г.) в Московском институте инженеров транспорта и в Нижнетагильском филиале УПИ [18].

Планы профессора М.И. Разикова в области триботехнической подготовки простирались еще дальше. На Всесоюзной конференции по вибродуговой наплавке в г. Челябинске он обращается к Главному управлению политехнических вузов, предлагая распространить преподавание «Основ износостойкой наплавки и напыления» на всех сварочных кафедрах. Вместе с другим выдающимся ученым УПИ – профессором И.Н. Богачевым – он обсуждал перспективы создания «Института контактной прочности металлов» [19]. Однако этим планам в связи со скорой кончиной Михаила Ивановича не суждено было осуществиться.

В 90-е годы прошлого века кафедра металлургии сварки была объединена с другой в кафедру литья и защитных покрытий, что позволило расширить число студентов, получающих триботехническую подготовку. В Нижнетагильском филиале УПИ в 1989 г. студентам-сварщикам стали преподавать курс «Методы упрочнения», в котором они изучали применение сварочных процессов для упрочнения и восстановления поверхностей трения. В 2005 г. курс преобразовали в общепрофессиональную дисциплину «Износостойкость машин», к основным вопросам которой относятся виды износа; износостойкость машиностроительных материалов; конструкторские приемы по снижению износа и методы упрочнения поверхностей трения; эксплуатация машин и ТОиР; восстановление износа; экономика износостойкости.

Значение триботехники в современном машиностроении трудно переоценить. Благодаря достижениям в этой области, существенно увеличился гарантийный ресурс машин и механизмов. В 80-е годы прошлого века их даже называли «безремонтными». Без таких механизмов было бы невозможно создавать безлюдные производства. К сожалению, в российских вузах так и не приступили к всеобщему преподаванию курса «Износостойкость машин», поэтому основная масса инженеров по-прежнему остается неосведомленной даже о том, что касается защиты механизмов от быстрого изнашивания. Это, видимо, одна из причин того, что отече-

ственная машиностроительная продукция по надежности и долговечности уступает продукции европейских стран. Представляется целесообразным включение курса «Износостойкость машин» наравне с курсами «Соппротивление материалов», «Теория машин и механизмов» в качестве общепрофессионального в учебные планы инженерных специальностей.

Заключение

В 60-е годы прошлого века под руководством профессора М.И. Разикова в УПИ сложилась научная школа износостойкой наплавки. Признанием ее успехов стало учреждение Минцветметом СССР в УПИ Отраслевой лаборатории наплавки. Дополнительное развитие научная школа получила в Нижнетагильском филиале УПИ под руководством ученика профессора М.И. Разикова – доцента И.А. Толстова. В постсоветское время из школы выросли предприятия по производству наплавочных работ (ООО «Композит», г. Нижний Тагил) и сварочных материалов (ЗАО «Завод сварочных материалов», г. Березовский и ООО «МАНЭПРЕМ», г. Екатеринбург).

В 70-е годы прошлого века преподавание «Основ износостойкой наплавки и напыления» было включено в учебные планы созданной М.И. Разиковым кафедры металлургии сварки. Студенты изучали не только сварочную специфику наплавочного процесса, но и подбор износостойких материалов в зависимости от условий и характера изнашивания, что в 90-е годы прошлого века нашло отражение при формировании объединенной кафедры литья и защитных покрытий, а также послужило примером для разработки в Нижнетагильском филиале УПИ нового курса – «Износостойкость машин».

Однако преподавание в вузах курса «Износостойкость машин» продолжает оставаться недостаточным, и, как следствие, основная масса инженеров не осведомлена даже о том, что касается защиты механизмов от быстрого изнашивания. Представляется целесообразным введение в учебные планы курса «Износостойкость машин» в дополнение к курсам «Теория машин и механизмов», «Соппротивление материалов», чтобы обучение в вузах проектированию и производству машин осуществлялось с учетом предупреждения не только поломок, но и быстрого изнашивания деталей машин.

Список литературы

1. Разиков М.И. Автоматическая наплавка в среде углекислого газа. – М. – Свердловск: Машгиз, 1962. – 212 с.
2. Разиков М.И., Толстов И.А. Восстановление изношенных деталей методом наплавки // Бюллетень НТИ. 1965. – 22-65-2081/52.
3. Гусев В.П., Менжелевский В.В., Толстых Л.Г. Материалы и технология наплавки инструмента горячего деформирования // Цветная металлургия. 1977. № 5. С. 28 – 30.
4. Усынин В.Ф., Арнаутов Б.В., Толстых Л.Г. Влияние кремния на упрочнение мартенситно-старееющего наплавленного металла // Теория и практика сварочного производства. – Свердловск: УПИ, 1978. С. 27 – 28.
5. Королев А.В., Рылов О.И., Мельников А.М. Повышение долговечности деталей машин путем износостойкой наплавки // Цветная металлургия. 1977. № 5. С. 28 – 30.
6. Разиков М.И., Толстов И.А., Кулишенко Б.А. Опыт применения стали типа 30X10Г10 для наплавки быстроизнашивающихся деталей // Сварочное производство. 1966. № 9. С. 30 – 31.
7. Толстов И.А., Зверев Л.И., Аршанский М.И. и др. Наплавка и комбинированные методы обработки засыпных аппаратов доменных печей. – М.: Металлургия, 1987. – 152 с.
8. Толстов И.А., Пряхин А.В., Николаев В.А. Повышение работоспособности инструмента горячего деформирования. – М.: Металлургия, 1990. – 143 с.
9. Толстов И.А., Семиколенных М.Н., Баскаков Л.В., Коротков В.А. Износостойкие наплавочные материалы и высокопроизводительные методы их обработки. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.
10. Толстов И.А., Коротков В.А. Справочник по наплавке. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отд-ние, 1990. – 384 с.
11. Коротков В.А., Баскаков Л.В., Толстов И.А. Восстановление и упрочнение роликов // Сварочное производство. 1991. № 3. С. 31 – 33.
12. Журавлев В.И., Сафонов Е.Н., Давыдов В.Н. Технология и оборудование электродуговой закалки стальных и чугунных деталей. – Свердловск: СЦНТИ, 1990. № 90-34.
13. Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. – Челябинск: Металл, 1993. – 144 с.
14. Коротков В.А. Плазменная закалка зубчатых и шлицевых соединений // Вестник машиностроения. 2009. № 8. С. 87 – 89.
15. Коротков В.А., Михайлов И.Д., Агафонов Э.Ж. Повышение стойкости штампов плазменной закалкой // КШПиОМД. 2009. № 1. С. 40 – 45.
16. Коротков В.А., Макаров С.В. Новая установка для упрочняющей обработки // Металлообработка. 2009. № 5. С. 43 – 46.
17. Разиков М.И., Толстов И.А. Справочник мастера наплавочного участка. – М.: Машиностроение, 1966. – 200 с.
18. Коротков В.А. О целесообразности преподавания в вузах общетехнической дисциплины «Износостойкость машин» // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 71 – 74.
19. Разиков М.И. – ученый, педагог, человек: сборник воспоминаний, посвященный 80-летию со дня рождения / Составитель Н.В. Королев. – Екатеринбург: Штурм-Техно, 2002. – 88 с.

Материал поступил в редакцию 28.09.2011

**КОРОТКОВ
Владимир
Александрович**

E-mail: 245901@mail.ru
Тел.: +7 (950) 656-25-75

Доктор технических наук. Почетный машиностроитель, профессор Нижнетагильского технологического института (филиал УрФУ). Сфера научных интересов – износостойкость машин. Автор более 100 научных работ.