

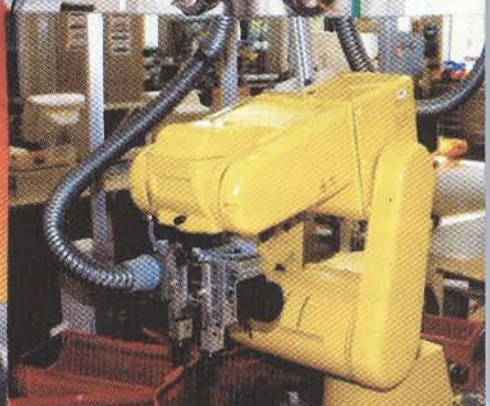
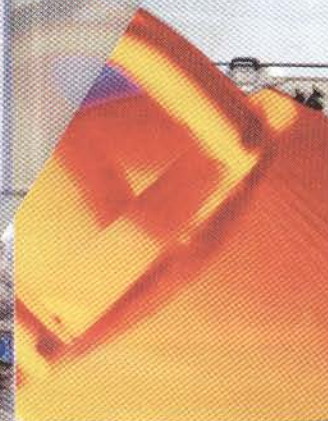
ISSN 0042-4633



ВЕСТНИК МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

9
2003



В. А. ПОЛЕТАЕВ, канд. хим. наук (ООО "Технопол", г. Москва),
Г. А. БАТАНИН (Ульяновский филиал ООО "Технопол"),
А. С. ЛУНИН, канд. хим. наук (НПП "Полипластик")

Особенности производства зубчатых колес из термопластичных композитов для высоконагруженных передач

Рассмотрены особенности производства высоконагруженных зубчатых колес ДВС. Основное внимание уделено выбору технологии, материалов, конструкции зубчатых колес и технологических параметров. Приведены результаты испытаний и практической эксплуатации зубчатых колес системы газораспределения и уравновешивающего вала из стеклонаполненного полиамида 6, в том числе в сравнении с ранее использовавшимся текстолитом. Дана информация о новом способе повышения точности рабочей части зубчатых колес — обкатке горячим инструментом и, соответственно, с отказом от дополнительной механической обработки.

Manufacture features of high-loaded gears for internal combustion engines are considered. Main attention is focused on the technological parameters, materials, gears construction. Results of tests and practical operation of gears from glass-filled polyamide for gas distribution system and counterbalancing shaft in comparison with previously used textolite are given. Information about new method of gears working part accuracy increasing - rolling with hot tool and break with additional machining is listed.

В традиционной силовой паре "шестерня—зубчатое колесо" шестерня, как правило, выполняется из металла, а колесо — из конструкционного полимерного материала. Это вызвано необходимостью снижения уровня шума работы узла, трения, износа для повышения, таким образом, срока службы механизма.

Зубчатые колеса высоконагруженных передач ранее изготавливались из реактопластов, причем особо высокопрочные изделия — из текстолитовой заготовки методом механической обработки с нарезанием зубьев. Производство зубчатых колес из реактопластов связано с выделением вредных летучих веществ и образованием невозвратных технологических отходов. Особую опасность представляет текстолитовая пыль, образующаяся при механической обработке изделий. Понятно, что в свете современных экологических требований подобного рода технологии вместе с применяемыми термоактивными материалами должны уйти в прошлое.

В настоящее время зубчатые колеса для нагруженных передач изготавливают либо из конструкционных термопластов, либо из термопластичных композитов [1, 2]. Наибольшее применение благодаря высокой технической надежности и эффективности нашли зубчатые колеса с косым зубом. В автомобилестроении их применяют в узлах газораспределительного механизма и уравновешивающего вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС), в том числе для мотоциклов и сельскохозяйственной техники; в узлах привода моторедукторов стеклоочистителей; в узлах привода спидометра, тахометра и др. В легкой промышленности их применяют в ткац-

ких станках и особенно широко в станках для измельчения бумаги и бумажной продукции для ее вторичного использования. Малогабаритные и малонагруженные зубчатые колеса применяют в приводах разнообразных печатных и пишущих устройств. В приборостроении и часовой промышленности их применяют в миниатюризованном виде в прецизионных передачах.

Для изготовления мало- и средненагруженных зубчатых колес (с моментом передачи менее 100 Н·м) в основном применяют такие конструкционные термопласты, как полиацетали (полиформальдегид и сополимеры формальдегида). Они обеспечивают высокую точность размеров, низкий коэффициент трения и малый износ при работе в паре с металлическими или родственными пластмассовыми шестернями. Следует отметить существенное и уникальное свойство гомополимера формальдегида: для него минимальная сила трения, необходимая для перехода трущейся пары из состояния покоя в состояние движения, практически равна нулю. Это очень ценное трибологическое качество обеспечивает в высокоточных механизмах необходимую плавность привода зубчатых передач. Однако в достаточно высоконагруженных зубчатых передачах при рабочей температуре более 120 °С полиацетали не обеспечивают требуемой надежности работы узла: зубчатые колеса под действием перманентных знакопеременных механических и тепловых нагрузок со временем разрушаются по месту зацепления. Характерным примером является узел моторедуктора стеклоочистителя автомобиля, в котором полиацетали, в силу отмеченного недостатка, были постепенно заменены более надежными стеклонаполненными композициями на основе полиамида 6 и 66 или их сополимеров.

Полиамиды проявляют особенно высокую надежность при работе узла в контакте с горячими минеральными и синтетическими маслами, в парах бензина и других углеводородов [3]. Композиции полиамида 6 с 30 % короткого стекловолокна [4] выдерживают кратковременные воздействия рабочих температур до 200 °С, аналогичные композиции полиамида 66 — до 240 °С. Допустимая рабочая температура длительной эксплуатации гораздо меньше вследствие термоокислительной деструкции полиамидов и составляет в обоих случаях около 140–150 °С. В самосмазывающихся модификациях таких композиционных материалов используют антифрикционные добавки: графит, дисульфид молибдена, политетрафторэтилен, силиконовые соединения. Опыт свидетельствует, что производство высоконагруженных зубчатых колес с формованным косым зубом (при оптимальном угле наклона 20–28°) требует приме-

нения стеклонаполненных полиамидных композиций, лучше — с антифрикционными добавками (MoS_2 — 0,012 мас. %, графит — 0,015 мас. %, ультрадисперсный порошок алмаза — 0,03 мас. % [5]).

Высоконагруженные зубчатые колеса с косым зубом широко применяют в ДВС. Это так называемые зубчатые колеса системы газораспределения, передающие вращение от коленчатого вала к распределительному валу, и зубчатые колеса уравнивающего вала (два колеса на двигатель, уравнивающие распределительный вал двигателя автомобиля типа "Ока" ВАЗ-11113 в силу его конструкции). Как отмечалось выше, высоконагруженные зубчатые колеса ДВС ранее изготавливались из текстолитовой заготовки с последующей механической обработкой. В начале 90-х годов прошлого века в рамках научно-технического сотрудничества с фирмой Du Pont (США) в СССР были выполнены пионерские работы, в результате которых в отечественном двигателестроении начали применяться указанные выше колеса ДВС, изготовленные литьем под давлением из стеклонаполненного полиамида. Хорошие результаты показал материал Zytel® 72G30 на отечественных двигателях Ульяновского ОАО "Волжские моторы" и ОАО "Заволжский моторный завод". Впоследствии "Полипластик" освоил производство стеклонаполненного полиамида 6 ряда марок, включая полиамидные композиции типа "Армамид® ПА СВ 30-1Э", которые с 1993 г. применяют для изготовления этих зубчатых колес. Они проявили высокую надежность в эксплуатации на автомобильной технике.

Испытания зубчатых колес ДВС, которые ранее изготавливались из текстолита, показали, что их средний износ составляет 0,04±0,05 мм на 70 тыс. км пробега. Однако такие же зубчатые колеса из полиамида 6 с 30 % короткого стекловолокна с формованным зубом за тот же период эксплуатации имеют средний износ 0,01—0,03 мм в зависимости от применяемой модификации материала. Технологический процесс переработки композиции полиамида 6 с 30 % короткого стекловолокна литьем под давлением осуществляют при температуре литья $T_{\text{л}} = 220\pm 255$ °С, давлении литья $p_{\text{л}} = 100\pm 120$ МПа и температуре формы $T_{\text{ф}} = 90\pm 120$ °С. Время цикла при изготовлении среднегабаритного зубчатого колеса, как правило, составляет 90±110 с. Для повышения стабильности размеров зубчатых колес при литье необходимо строго соблюдать выбранные в данных интервалах параметры литья. Равномерность температуры $T_{\text{ф}}$ по всем рабочим поверхностям литейной формы позволяет минимизировать разницу в тепловой усадке. Вообще усадку композиций полиамида 6 со стекловолокном можно регулировать за счет изменения температур $T_{\text{ф}}$, $T_{\text{л}}$ и давления $p_{\text{л}}$. После выемки из литейной формы горячие детали должны кондиционироваться на металлической плите в сухом помещении не менее 6 ч. В этих условиях удастся получать зубчатые колеса с формованным зубом без образования раковин, пор, утяжин, т. е. отвечающие эксплуатационным требованиям ДВС [3].

При изготовлении зубчатых колес с металлической ступицей-арматурой требуется перед установкой в форму нагреть ступицы до 70±80 °С, так как соприкоснове-

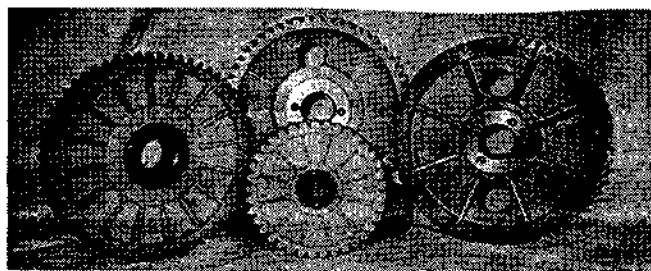


Рис. 1. Зубчатые колеса из стеклонаполненного полиамида 6 для ДВС

ние расплава полиамида с холодной ступицей приводило бы к образованию трещин, пузырей, утяжин. Кроме того, с целью снижения торцового и радиального биений зубчатого колеса необходима высокая точность изготовления самой металлической ступицы. Ее торцовое биение не должно превышать 0,03±0,05 мм. Конструкция металлической ступицы должна предусматривать минимальную толщину стенки (2±5 мм), на наружной поверхности ступицы необходимо выполнять пазы или выпуклости со слегка закругленными кромками.

Конструкция зубчатого колеса, получаемого литьем под давлением, должна быть технологичной и нематериалоемкой [6]. В последнее десятилетие были созданы конструкции с зубчатым венцом (рис. 1) в виде дисков толстого — по типу прессованных заготовок из текстолита; тонкого с толщиной диска 3±5 мм с числом ребер жесткости от 6 до 16 толщиной 1,5±3 мм и диска с ребрами или без них, но с несколькими утолщениями.

Результаты испытаний показали, что конструкции, имеющие 12±16 ребер, при низкой материалоемкости и лучшей технологичности отличаются и наибольшей прочностью при испытаниях на прогиб и выпрессовку ступицы. На примере зубчатых колес ($D = 162$ мм) газораспределения, получаемых серийно из стеклонаполненного полиамида 6 "Армамид® ПА СВ 30-1Э" (производства НПП "Полипластик"), получены результаты, приведенные в таблице. Видно, что 16-реберные зубчатые колеса по прочности предпочтительнее тех же колес с меньшим числом ребер.

Конструкция зубчатого колеса (зубчатого колеса газораспределения ДВС) с ребрами жесткости	Нагрузка, P , кгс	Прогиб, мм, до разрушения
<i>Испытание на прогиб</i>		
Без ребер жесткости	1000	2,6
	1150	3,0
С 8 ребрами жесткости	2000	3,6
	2300	3,5
С 10 ребрами жесткости	2000	2,6
	2500	3,2
С 16 ребрами жесткости	2000	3,5
	2340	4,0
	3200	4,9
<i>Испытание на выпрессовку ступицы</i>		
Без ребер жесткости	2200	—
С 8+10 ребрами жесткости	3450	—
С 16 ребрами жесткости	4600	—

Необходимо отметить, что при литье пластмассовых зубчатых колес с ребрами жесткости происходит неравномерная усадка по окружности венца, уменьшение его диаметра в секторах между ребрами. Поэтому при измерении межцентрового расстояния с ведущей металлической шестерней наблюдается повышенное биение — около $0,04 \pm 0,015$ мм по делительному диаметру (рис. 2). Увеличение числа радиальных ребер тонкого диска с толщиной 1 ± 3 мм позволяет не только повысить его жесткость, но и предотвратить образование раковин, уменьшить усадку и тем самым устранить отклонение от геометрически правильной формы. Лучшие результаты получены для зубчатых колес с 16 ребрами.

В производстве зубчатых колес с косым формованным зубом важно правильно сконструировать литьевую форму, а именно: с веерным круглым литником (диаметр которого больше толщины стенок колеса), с синхронно поворачивающимся механизмом для выемки горячей детали без изменения параметров зуба. Веерный литник обеспечивает ровное, радиально-симметричное заполнение расплавом материала с получением зубчатого колеса правильной круглой формы. Особое внимание следует уделить высокой точности изготовления венца (рис. 3), причем нужно учитывать диапазон усадки материала при литье, а также его тепловое расширение после установки в ДВС на эксплуатацию (коэффициент термического линейного расширения материала составляет $(5 \pm 7) \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ при температуре 100 ± 120 °С). Таким образом, при $D = 162$ мм диаметр колеса увеличивается на $0,6 \pm 0,7$ мм, тогда как у колеса из текстолита он увеличивается на $0,3 \pm 0,4$ мм при такой же температуре 100 °С. При нагреве полиамидного зубчатого колеса в ДВС до 120 ± 140 °С толщина зуба увеличивается от $3,65 \pm 3,75$ до $3,82 \pm 3,88$ мм, в результате она становится близкой к требованию конструкторской документации.

Однако при серийном производстве зубчатых колес трудно учесть возможные колебания всех параметров технологического процесса. Это вызывает разброс основной литьевой усадки материала и постусадки после выемки изделия без последующей фиксации. Поэтому

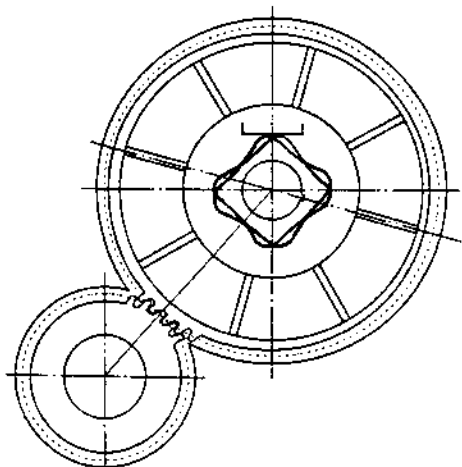


Рис. 2. Схема зацепления зубчатых колес газораспределения с 8 ребрами жесткости

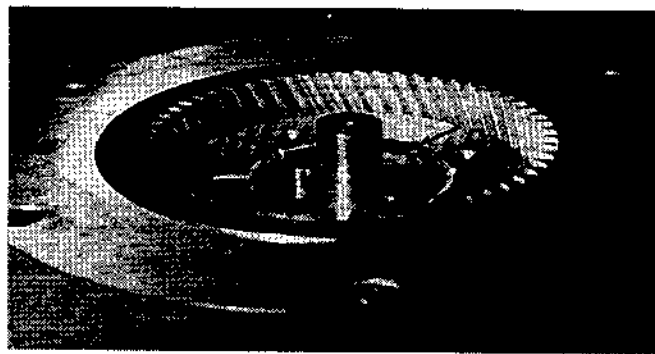


Рис. 3. Литьевая форма для зубчатых колес газораспределения

для получения высокой точности размеров (толщины, формы и угла наклона зуба) требуется механическая доводка — шевингование. Венец зубчатого колеса исправляют специальным инструментом — шевером, который снимает внешний слой $0,1 \pm 0,3$ мм, доводя тем самым профиль зуба до требований конструкторской документации. Только при такой обработке удастся получать зубчатые колеса, удовлетворяющие виброакустическим требованиям по уровню шума.

Были изучены виброакустические характеристики зубчатых колес газораспределения ДВС для автомобилей ГАЗ, УАЗ и зубчатых колес уравнивающего вала ДВС для автомобиля ВАЗ-11113, изготовленных из стеклонанополненной композиции полиамида 6 "Армамид® ПА СВ 30-1Э". Характеристики сравнивали с данными, полученными для аналогичных зубчатых колес из текстолита, имеющих нарезанный зуб. Установлено, что последние заметно уступают литым колесам с формованным зубом по виброакустическим характеристикам (при оптимальном зазоре $0,37 \pm 0,45$ мм) как на основной частоте пересопрежения зубьев ZN/60, так и по общим уровням шума на корпусе и виброускорений.

После измерения уровня шума колес газораспределения получены следующие результаты: 70 ± 75 дБ для колес из стеклонанополненного полиамида "Армамид® ПА СВ 30-1Э" с формованным зубом и 75 ± 80 дБ после пробега в двигателе 35 тыс. км; 80 ± 85 дБ для колес из текстолита с нарезанным зубом и 115 ± 118 дБ после пробега в двигателе 30 тыс. км.

Износ зубьев для зубчатых колес из композиции полиамида составляет менее 0,01 мм на 10 тыс. км пробега, из текстолита — в $1,5 \pm 2$ раза выше. На рис. 4 представлены зависимости зазора Δ зубчатого колеса ДВС от пробега L . При $L > 50$ тыс. км износ зубчатого венца колеса из текстолита превышает допустимый зазор пары зубчатое колесо — металлическая шестерня, что приводит к значительному увеличению уровня шума двигателя. Аналогичные показатели уровня шума (до 75 дБ) и износа венца зафиксированы для зубчатых колес уравнивающего вала двигателя ВАЗ-11113.

Таким образом, зубчатые колеса, получаемые при литье под давлением, после дополнительной механической обработки (шевингования) имеют приемлемые показатели по эксплуатационным характеристикам и уровню шума в ДВС.

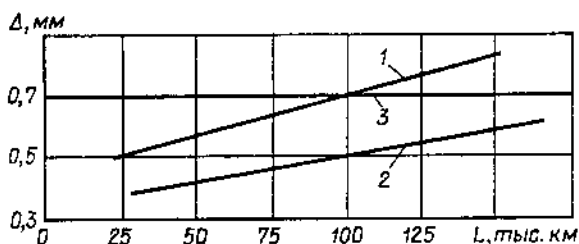


Рис. 4. Зависимости зазора Δ зубчатого колеса ДВС от пробега L двигателя:
 1 — $\Delta = 0,42 + 0,00304L$ для текстолита; 2 — $\Delta = 0,22 + 0,00208L$ для стеклонаполненных полиамидов; 3 — допустимый зазор

К сожалению, при операции шевингования с деталей снимается самый уплотненный и весьма ценный слой материала, что впоследствии отражается на износе венца. Исключить операцию шевингования, к тому же усложняющую технологический процесс в целом, было одной из задач при разработке принципиально нового метода получения высокоточной геометрии для косозубых и прямозубых колес с формованным зубом — с одновременным улучшением технических и эргономических характеристик зубчатых колес. Поставленная задача была решена за счет применения чистовой обкатки пластмассовых зубчатых колес с формованным зубом с использованием обкатывающего горячего металлического инструмента, имеющего аналогичную форму зубчатого колеса (т. е. как в паре шестерня—зубчатое колесо). Причем обкатываемое зубчатое колесо может быть и холодным, и нагретым [7]. Пластмассовое зубчатое колесо с формованным зубом в данном случае получено литьем под давлением из термопластичного композита, металлическое колесо — механической обработкой заготовки. Температура обкатываемого пласт-

массового колеса может находиться в интервале от нормальной до $80\text{ }^\circ\text{C}$; обкатывающее колесо из металла должно быть нагрето в интервале температур $60\div 280\text{ }^\circ\text{C}$. Длительность процесса обкатки не превышает 60 с.

Применение принципиально новой технологии в производстве высоконагруженных зубчатых колес позволяет снизить уровень шума работы ДВС на $5\div 12\%$ ($5\div 9$ дБ), при этом радиальное биение зубчатого венца снижается на $8\div 17\%$, существенно уменьшается износ от сил трения.

Таким образом, специалисты машиностроительных отраслей, включая автомобилестроение, на наш взгляд, могут достаточно эффективно использовать изложенный выше опыт производства зубчатых колес с формованным зубом из высоконадежных термопластичных полимерных композиционных материалов, в том числе решая важную техническую задачу получения изделий с высокоточной геометрией зубчатого венца, а при использовании указанных изобретений — на основе лицензионного соглашения с ООО "Технопол".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетаев В. А., Шелкунов В. П., Лунии А. С. Высокопрочные зубчатые колеса из термопластичного композита с формованным зубом // Вестник машиностроения. 1997. № 4. С. 16—18.
2. Карнаухов Б. Г., Полетаев В. А. Полимерные композиционные материалы в машиностроении // ЖВХО. 1989. № 5. С. 483—492.
3. Окуда Сато. Стойкость пластмасс и их применение // Plast. Age. 1997. V. 23. № 2. P. 97—101.
4. Карнаухов Б. Г., Полетаев В. А., Лунии А. С. Стеклонаполненный полиамид в нагруженных деталях подкапотного пространства транспортных средств // Пластические массы. 1996. № 5. С. 23—24.
5. Узел трения скольжения: Пат. 2086681 РФ.
6. Косозубая шестерня: Пат. 2016296 РФ.
7. Способ чистовой обкатки пластмассовых зубчатых колес: Пат. 2207954 РФ.

УДК 534.232.082.73

С. М. АФОНИН, канд. техн. наук [Московский ГИЭТ(ТУ)]

Особенности диаграмм сжатия и упругих податливостей пьезодвигателей наноперемещений

Исследованы диаграммы сжатия и упругие податливости пьезодвигателей наноперемещений. Определены характерные точки диаграммы сжатия, соответствующие механическому напряжению выбора зазоров и смятия микронеровностей, пределу временного сопротивления на сжатие с образованием микротрещин по краям пьезопластин, пределу временного сопротивления на сжатие, механическому напряжению упругого разрушения. Для любого исполнения пьезодвигателя наноперемещений необходимо предварительное поджатие с удельным давлением, большим механического напряжения выбора зазоров и смятия микронеровностей, для увеличения жесткости пьезодвигателя.

Compression and resilient yielding diagrams of piezomotors for nanometric movements are investigated. Typical points of compression diagram corresponding to mechanical stress at plays compensation and microroughnesses bearing, compression strength with microcracks building on the piezoplates ends breaking stress are defined. As to increase piezomotor rigidity for all its types; it's necessary to realize the preliminary contraction with specific pressure which is more than mechanical stress at plays compensation and microroughnesses bearing.

Применение в прецизионных системах автоматического управления пьезодвигателей наноперемещений перспективно в оборудовании нанотехнологии и микроэлектроники [1—3]. Пьезодвигатель наноперемеще-

ний представляет собой пьезопреобразователь, работающий на основе обратного пьезоэффекта, в котором перемещение достигается за счет деформации пьезоэлемента при приложении электрического напряжен-

В РАМКАХ ПРАЗДНОВАНИЯ ДНЯ ГОСУДАРСТВЕННОСТИ
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ



II
ВСЕРОССИЙСКАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА

“МАШИНОСТРОЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКА - 2003”

4-6 ноября 2003 года

ФОЦ “Здоровье”
ул. Кооперативная, 9
г. Ижевск

426063, Удмуртская Республика
г. Ижевск, ул. Гольянский поселок, 54а
Тел. (3412) 51-13-15, 75-03-08, 75-34-17
75-17-98, 75-13-19, 76-14-17
E-mail: izhexp@udmnet.ru

ПРАВИТЕЛЬСТВО
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА ИЖЕВСКА
УДМУРТСКАЯ ТОРГОВО-
ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПАРТНЕР ВЫСТАВКИ



Удмуртская
Промышленная
Компания



Информационные спонсоры:

Сварка в Сибири

МЕТАЛЛЫ
И ЦЕНЫ

Уральский рынок
МЕТАЛЛОВ

Металлы
ЕВРАЗУ

AK&M



Машиностроение
УКРАИНЫ

Тяжелое
Машиностроение

ВЕРССИ

INVERTERS.RU

по всей
стране

Сайт выставки: <http://www.metal.izhexpo.ru>