

менение величины NPV по годам дано на рис. 3, откуда следует, что средства в размере 54000 грн для замены электродвигателя накопятся за 7 лет эксплуатации, т.е. в данном случае выбор электродвигателя с небольшой перегрузкой целесообразен.

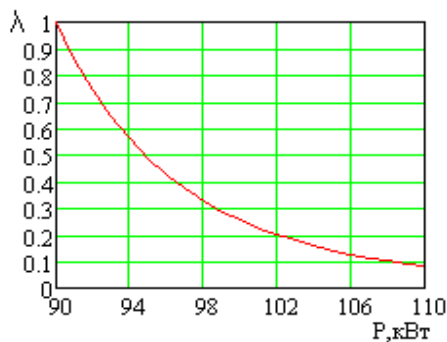


Рис. 2. Изменение срока службы электродвигателя по отношению к номинальному

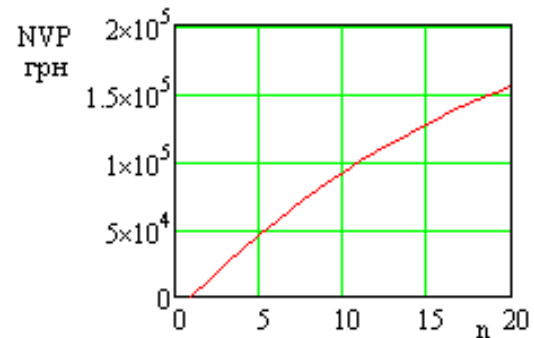


Рис. 3. Изменение величины NPV по годам

Выводы. Подход к выбору электродвигателя по номинальной мощности для привода механизмов, сложившийся в прошлом столетии в учебной литературе, в ряде вопросов требует дополнения с учетом изменения стоимости электроэнергии и подходов к оценке экономической целесообразности технических мероприятий.

Список литературы

1. Бан Д., Жарко Д., Мирчевски С. Современное состояние и тенденции повышения КПД электрических машин / Электротехника. - №1, 2012. - С. 14.
 2. Непомнящий Е.Г. Инвестиционное проектирование: Основные показатели эффективности инвестиционных проектов и методы их оценки, ТРТУ, 2003. - 262 с.
 3. Федоров М.М., Лужнев А.И., Боев А.Е. Оценка сроков службы изоляции электрических машин, Наукові праці Донецького національного технічного університету, №10(180), 2011. - С. 4.
- Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 669.162

Т.П. ЯРОШ, В.В. ПЛОТНИКОВ, кандидаты техн. наук, доц.,
О.В. МАРАСАНОВА, ассистент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПИРИТНЫХ ОГАРКОВ ПРИ ИХ ОКУСКОВАНИИ

Приведен термодинамический анализ процессов с участием серосодержащих компонентов пиритных огарков при их окусковании.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В химической, горнодобывающей, металлургической промышленности образуется большое количество твердых отходов. Одним из наиболее многотоннажных отходов химической промышленности является пиритный огарок, образующийся при производстве серной кислоты. К имеющимся запасам отвальных пиритных огарков ежегодно прибавляется несколько сотен тысяч тонн.

Вместе с тем пиритные огарки являются ценным комплексным сырьем, в котором, наряду с высоким содержанием железа (значение которого может приближаться к содержанию железа в отечественных агломератах), присутствуют такие примеси, как свинец, медь, цинк, кобальт, серебро и др. Основным препятствием для использования огарков в доменных плавках являются высокая степень измельчения, значительные содержания цветных металлов, что осложняет процесс доменной плавки и загрязняет его продукты, а также высокое содержание вредных примесей, что приводит к получению чугуна низкого качества.

Одновременно, под влиянием атмосферных осадков и климатических условий в накопленных в отвалах огарках происходят изменения химического и фазового составов минеральных составляющих и образование растворимых в водных средах соединений многих тяжелых, в том числе и высокотоксичных, металлов, которые оказывают пагубное влияние на окружающую среду. С одной стороны, накопленные пиритные огарки создают реальную угрозу загрязнения

водной и воздушной среды, с другой стороны являются ценным источником получения черных, цветных, благородных и редких металлов, не используемым до настоящего времени ввиду отсутствия экономически пригодных технологий и аппаратуры [1].

Анализ исследований и публикаций. Пиритные огарки образуются при переработке железного колчедана (пирита) в серную кислоту. Чистый железный колчедан содержит 53,5% серы и 46,5% железа. В природном колчедане, кроме серы и железа, содержатся примеси песка, глины, карбонатов, сульфидов цветных металлов, соединений мышьяка, селена, серебра, золота и др. При обжиге обогащенного пиритного концентрата получают диоксид серы, который в дальнейшем перерабатывают в серную кислоту, а в качестве твердого отхода образуется пиритный огарок. Пиритные огарки состоят в основном из железа и имеют следующий химический состав: Fe_2O_3 56-77%, SiO_2 9-22%, Al_2O_3 1-18%, CaO 0,8-5%, MgO 0,1-0,2%, кроме того они содержат в своем составе медь, цинк, свинец, серу, драгоценные металлы, мышьяк, селен. При обжиге пиритного концентрата огарков образуется около 70% от массы колчедана.

Несмотря на ценность пиритных огарков, как металлургического сырья, его использование в металлургии ограничивается тремя факторами:

Первый - это присутствие значительного количества остаточной серы. Сера вредна со многих точек зрения: при большом содержании она резко увеличивает расход кислорода на ее окисление при переплавке чугуна в сталь, а при малом - связывает легирующие компоненты в процессах получения специальных марок стали. Но даже при очень малых остаточных концентрациях в чугуне сера резко ухудшает качество выплавляемой стали, придавая ей хрупкость и снижая коррозионную устойчивость.

Второй фактор, который не позволяет напрямую направлять пиритные огарки в металлургический передел (даже для получения менее ответственных и дешевых марок стали или чугуна) состоит в том, что в огарках, помимо недообожженных пирита и колчедана, содержатся в заметных количествах сульфиды других тяжелых металлов – халькозин Cu_2S , ковеллин CuS , вюрцит ZnS , халькопирит CuFeS_2 , арсенопирит FeAsS_2 , а также изоморфные их соединения, в которых серу замещают атомы селена Se и теллура Te. Кроме того, в составе огарков присутствуют в небольших количествах сульфиды Ni, Co, Ag, Au и Pt [2].

Третья причина «несостоятельности» пиритных огарков как сырья для черной металлургии - неудовлетворительный гранулометрический состав (крупность менее 1,5 - 2,0 мм при содержании фракций крупностью менее 0,07 мм 50-60%) [3], из-за чего пиритные огарки не могут быть непосредственно использованы в доменной плавке и требуют предварительной подготовки, от технологии которой зависит количество используемых в составе компонентов доменной шихты пиритных огарков.

Для переработки пиритных огарков предложены две группы методов – пирохимические (высокотемпературные) и гидрохимические (низкотемпературные). Каждая из этих групп имеет свои достоинства и недостатки, но с точки зрения экологии более приемлемыми являют водные методы, поскольку они в меньшей степени загрязняют атмосферу [2].

Среди пирохимических методов утилизации огарков известны: хлорирование (метод Д.М.Чижикова), хлорирующий и сульфатизирующий обжиг (метод И.Н.Масленицкого). Но такой процесс связан с применением очень токсичного хлора и требует огромных энергозатрат, не окупающихся извлеченным металлом. Несмотря на то, что описанные методы в достаточной степени разработаны и испытаны в полупромышленных масштабах, они до сих пор не внедрены.

Гидрохимическая переработка пиритных огарков заключается в переводе в раствор ценных соединений, содержащихся в огарках, может быть осуществлен путем обработки измельченных материалов кислотами, но это невыгодно, да и затруднительно в отсутствие окислителей, необходимых для окисления недообожженных сульфидов. Применение автоклавов (метод Худякова И.Ф.) позволяет использовать в качестве окислителя кислород. В результате все ценные компоненты огарков переходят в раствор, из которого извлекают: медь – цементацией на железе, цинк, никель, кобальт, кадмий – электролизом (шлам, содержащий серебро, золото и платиноиды обрабатывают одним из вышеописанных способов), железо(II) – окислением до Fe^{3+} на аноде и осаждением гидроксида трехвалентного железа из раствора щелочью [2].

Предлагаемые ранее и сейчас технологии переработки пиритных огарков [4,5], хотя и экономически самоокупаемые, дают лишь частичное решение вопроса их использования с получе-

нием концентратов низкого качества, невысоким извлечением ценных компонентов и образованием новых, условно отвальных продуктов – хвостов.

Известно использование пиритных огарков в качестве добавок в агломерационную шихту [6-8]. Однако неблагоприятный гранулометрический состав и плохая комкуемость пиритных огарков приводит к снижению производительности агломерационных машин и прочности агломерата [3], что требует использования связующих веществ и усложняет технологию подготовки аглошихты. При этом доля пиритных огарков в агломерационной шихте не превышает 5-10%.

Ввод пиритных огарков в агломерационную шихту в виде гранул размером 3-6 мм, полученных предварительным их смешением со связующими веществами и окомкованием [7], позволяет повысить производительность агломашин и качество агломерата по сравнению с вводом пиритных огарков в неокомкованном виде. Однако и этот способ не решает проблему увеличения доли пиритных огарков в аглошихте из-за значительного содержания в них сульфатной серы, которая плохо удаляется при агломерации.

Постановка задачи. Поскольку одним из основных ограничений доли пиритных огарков в шихте для получения окускованного железорудного сырья является высокое содержание вредных примесей (S, Zn, As и др.), то первоочередной задачей на пути к решению этой проблемы является теоретическое исследование их поведения при металлургической переработке сырья.

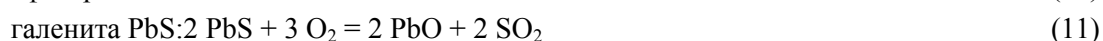
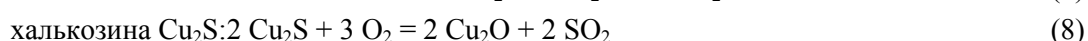
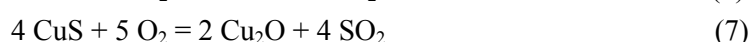
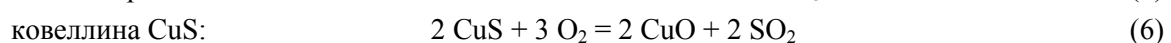
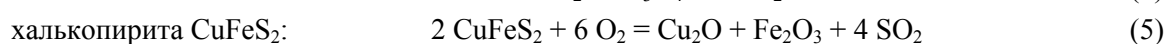
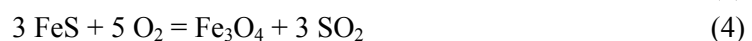
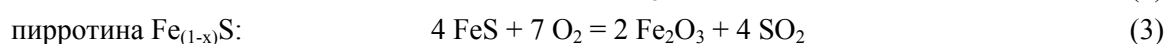
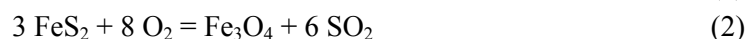
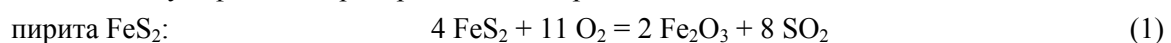
Изложение материала и результаты. Сера находится в пиритных огарках в виде сульфидов и сульфатов. Сульфидная сера входит в основном в остаточный пирит и пирротин, а также сульфиды цветных металлов (халькопирит, халькозин, ковеллин, сфалерит, галенит). Состав сульфатов следующий: 76% CaSO₄, 7% ZnSO₄, 6% BaSO₄, 6% Fe₂(SO₄)₃, 3% CuSO₄ и 2% PbSO₄. Общее количество сульфатной серы достигает 50 и более процентов от общего содержания серы [9].

Поэтому важно процесс десульфурации шихты осуществлять на стадиях предварительного окускования сырья, выдавая готовый продукт с минимально возможным в данных условиях содержанием серы.

Удаление серы возможно в результате протекания процессов диссоциации и окисления сульфидов, а также при разложении сульфатов.

Как известно из литературных источников [10], процессы диссоциации сульфидов протекают при умеренных температурах. Пирит на воздухе теряет половину всей серы в ходе диссоциации уже при температуре 565° С: $2 \text{FeS}_2 = 2 \text{FeS} + \text{S}_2$; начиная с 550° С происходит диссоциация халькопирита: $2 \text{CuFeS}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{FeS} + \frac{1}{2} \text{S}_2$, а с 400° С – диссоциация ковеллина: $4 \text{CuS} = 2 \text{Cu}_2\text{S} + \text{S}_2$.

Окисление сульфидной серы происходит по реакциям



Результаты термодинамического анализа перечисленных реакций (рис. 1) показали, что процессы окисления сульфидов протекают при умеренных температурах.

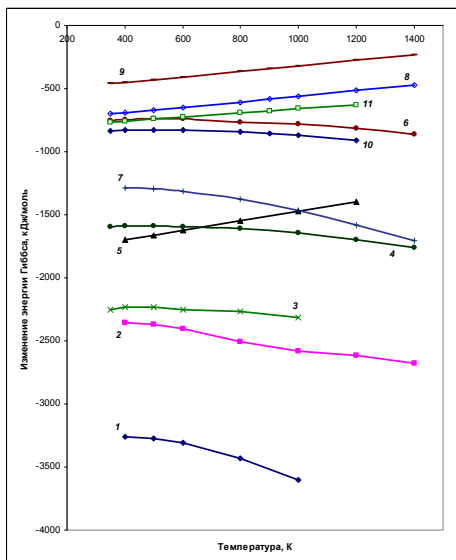


Рис. 1. Зависимость энергии Гиббса от температуры для процессов окисления сульфидов (цифры возле кривых)

Наиболее легко осуществимым с термодинамической точки зрения является процесс окисления пирита (реакции 1 и 2). Величина константы равновесия реакции окисления пирита до гематита имеет более высокие значения в сравнении с константой равновесия для реакции (2), поэтому при наличии достаточного количества кислорода в газовой фазе данный процесс получает преимущественное развитие.

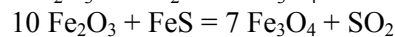
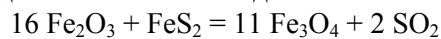
соответствуют нумерации уравнений реакции в тексте)

Легко окисляются также пирротин, ковеллин и сфалерит. Процесс окисления ковеллина до конечного продукта в виде Cu_2O является более легко осуществимым в сравнении с реакцией (6), однако температурный интервал его протекания ограничен началом диссоциации ко-

веллина.

Более высокие температуры необходимы для осуществления процессов окисления халькозина и галенита.

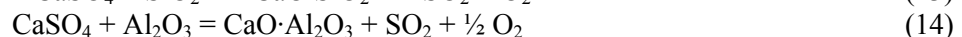
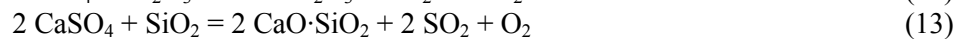
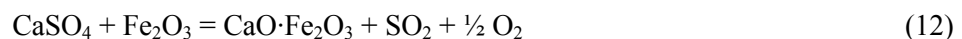
Кроме окислительных процессов удаление серы возможно также в результате непосредственного взаимодействия сульфидов с высшими оксидами железа по реакциям:



С термодинамической точки зрения процесс взаимодействия пирита с гематитом возможен в узком температурном интервале, который ограничен с одной стороны температурой начала протекания реакции (~480 °C), а с другой стороны – температурой диссоциации пирита. Поэтому при высоких температурах (выше 800-850 °C) значительную роль начинает играть процесс взаимодействия пирротина с гематитом.

В сравнении с сульфидами сульфаты диссоциируют при относительно более высоких температурах. Наиболее устойчивыми сульфатами являются сульфаты бария и кальция. Разложение остальных перечисленных сульфатов термодинамически возможно в интервале температур 670-850 °C.

Оксиды железа, кремнезем и глинозем способствуют разложению сульфата кальция по реакциям



Результаты термодинамического анализа данных реакций (рис. 2) в сравнении с процессом диссоциации чистого сульфата кальция (15) показали принципиальную возможность снижения температуры разложения $CaSO_4$.

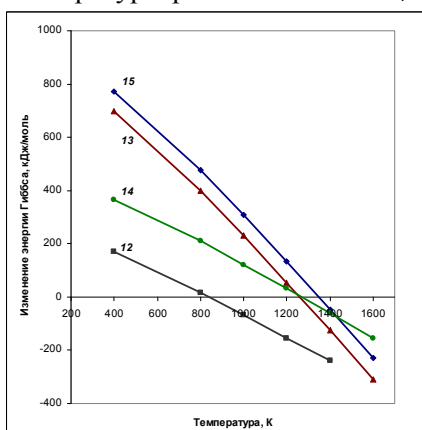
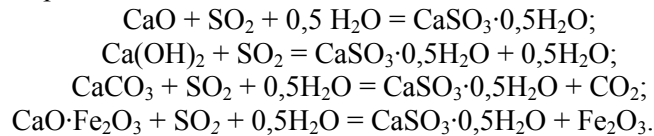


Рис. 2. Зависимость энергии Гиббса от температуры для процессов разложения сульфата кальция

Наилучший результат достигается при добавлении к ангидриту оксидов железа; в присутствии кремнезема и глинозема снижение температуры диссоциации сульфата кальция составляет 75-100° C. Увеличение температуры процесса приводит к уменьшению энергии Гиббса, и, следовательно, способствует разложению сульфатов.

Однако процесс десульфурации осложняется тем, что диоксид серы и газообразная сера из газовой фазы могут поглощаться оксидами кальция и магния, ферритами, силикатами кальция и магния и другими соединениями с образованием труднорастворимых сульфатов кальция и магния. При этом в процессе агломерации на первой стадии образу-

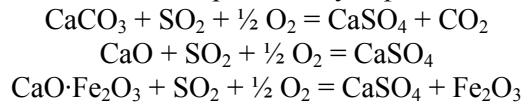
ется сульфит кальция по реакциям



Это объясняется захватом части SO_2 из газовой фазы известью, известняком и ферритами кальция в зонах сырой и подогретой шихты. При последующем нагреве до 150°C сульфит кальция дегидратируется: $\text{CaSO}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_3 + 0,5\text{H}_2\text{O}$, а затем при более высоких температурах в присутствии кислорода окисляется до CaSO_4 : $\text{CaSO}_3 + 0,5\text{O}_2 = \text{CaSO}_4$ [10,11].

При производстве окатышей сульфат кальция образуется без образования промежуточных сульфитов.

Результаты термодинамического анализа реакций сульфатизации



показали, что превращение ферритов кальция в сульфаты происходит вплоть до температуры $750-800^\circ \text{C}$, извести – до $950-1000^\circ \text{C}$. Известняк может поглощать сернистый газ с образованием сульфата в температурном интервале, который ограничен с одной стороны температурой диссоциации карбоната кальция, а с другой - температурой начала разложения CaSO_4 . Сульфатизация шихты снижает степень ее десульфурации при высокотемпературной обработке в среднем на 5-7%.

Выводы и направление дальнейших исследований. Термодинамический анализ позволил определить следующие особенности десульфурации пиритных огарков при их высокотемпературной обработке:

1. Десульфурация пиритных огарков осуществляется за счет протекания процессов диссоциации и окисления сульфидов, а также в результате разложения сульфатных минералов.
2. Процессы диссоциации и окисления сульфидов протекают при умеренных температурах. Более высокие температуры необходимы для процессов разложения сульфатов, среди которых наиболее устойчивыми являются сульфаты бария и кальция.
3. Снижение температуры разложения сульфата кальция возможно при добавлении оксидов железа, кремнезема и глинозема.
4. Процесс десульфурации осложняется тем, что диоксид серы и газообразная сера из газовой фазы способны участвовать во вторичных процессах сульфатизации, что приводит к снижению степени обессеривания пиритных огарков при их высокотемпературной обработке.
5. Для определения целесообразности использования пиритных огарков в процессах окискования необходимо исследовать возможность удаления из них других вредных примесей.

Список литературы

1. Зубков А.А., Шуленина З.М. Переработка пиритных огарков // IV Конгресс обогатителей стран СНГ: Материалы конгресса. М.: Альтекс, 2003. - Т.1. - С. 95-97
2. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления. Учебное пособие. – Тверь: Издательство ТГТУ, 2004.– 107 с.
3. Пат. 2128720 Российская федерация, МПК 7: С22В1/16. Способ подготовки агломерационной шихты к спеканию [Текст] / Павлов А.И.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "ФИНПРОМКО". –№ 98113186/02; заявл. 15.07.1998; опубл.10.04.1999.
4. Дементьев И.В., Лапин Э.С. Уральская государственная горно-геологическая академия - участник программы «Переработка техногенных образований Свердловской области» // Изв. Вузов. Горный журнал. - 1997. - 11-12. - С. 11-20
5. Пат. 2397260 Российская федерация. МПК: С22В11/00. Способ глубокой переработки пиритных огарков[Текст] / Мухаметшин И.Х. и др.; заявитель и патентообладатель Мухаметшин И.Х. и др. –№ 2009108888/02; заявл. 10.03.2009; опубл.20.08.2010.
6. Бюллетень ЦИИНЧМ. 1996. №9 (533), С. 6-9.
7. Бюллетень ЦИИНЧМ. 1996. №9 (533), С. 11-12.
8. Пат. 77903. Україна. МКИ С 22 В 1/16. Спосіб виробництва агломерату / Товариство з обмеженою відповідальністю виробничо - комерційнв фірма "ПРИЗ"; карабаш Д.Г., Зотов О.В., Петнієв Є.І. та ін.-№ а 200508888.-Заявл. 19.09.2005; Опубл. 15.01.2007 // Промислова власність.-2007-№1.-с.3.198
9. Лазуткин А.Е. Совершенствование технологии агломерации с целью металлургической переработки пиритных огарков [Текст]: дис... канд. техн.наук: 05.16.02. – Москва, 1984. - 184 с.
10. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. М.: Металлургия, 1974. – 288 с.

11. Юсфин Ю.С. Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей. М.: Metallurgy, 1973. – 272 с.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 621.924.093.048

А.А. РЯЗАНЦЕВ, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

СПОСОБ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЯ

Рассмотрен способ, который повышает точность профилирования винтовых поверхностей зубообрабатывающих инструментов и метод контроля профилей зубьев зубчатых колес.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Зубчатые передачи имеют широкое применение во всех отраслях машиностроения и приборостроения. Главными элементами, определяющие работоспособность зубчатых передач, являются зубья колес. Огромный диапазон нагрузок, окружных скоростей, разнообразие передач (эвольвентные передачи, Новикова, арочные и др.) делают весьма актуальной разработку энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки поверхностей зубьев и их предэксплуатационной адаптации, повышающих надежность и долговечность передач, а так же точность изготовления профиля зубчатого колеса и последующий контроль.

Однако точность зубчатых колес непосредственно связана с точностью зубообрабатывающих станков и зуборезного инструмента. Среди зуборезных инструментов червячные фрезы являются наиболее распространенными инструментами, используемыми для чистовой и получистовой обработки. Проблема усложняется разнообразием конструктивных вариантов фрез.

По конструкции фрезы изготавливаются монолитными, составными и сборными. Составные червячные фрезы являются промежуточными между монолитными и сборными. Их режущие элементы соединяются с корпусом фрезы путем приклеивания, приваривания, припаивания или механически с помощью клиньев, крышек, винтов и гаек. У монолитных и составных фрез необходимые задние углы обеспечиваются на операции затылования, а у сборных фрез они получаются за счет определенного расположения режущих элементов относительно корпуса. При этом каждой из конструкций присущ вполне определенный способ формирования задних поверхностей режущей части.

Анализ исследований и публикаций. Методология профилирования современного зуборезного инструмента и исследования взаимосвязи геометрических параметров инструмента на уровень точности зубчатых колес вызывает повышенный интерес у многих авторов [1,2], которые считают, что задачу по совершенствованию технологий профилирования зуборезного инструмента, контроля получаемого профиля и упрочнения зубьев следует решать в комплексе.

Зубчатые передачи, по определению, относятся к числу наиболее напряженных, сложных по форме и многообразных по режимам, условиям эксплуатации и ответственности деталей машин, поэтому имеет большое значение их контроль. Главным образом контролю необходимо подвергать профиль зубьев зубчатых колес [4]. Исследованию этой проблемы уделяется особое внимание.

1. Измеряют на различных высотах зубьев величины хорд между разноименными профилями зубьев и сравнивают их с соответствующими номинальными величинами хорд. Для измерения хорд используют кромочный зубомер.

2. Измеряют величины общих нормалей к разноименным профилям зубьев и сравнивают их с соответствующими номинальными величинами общих нормалей, при этом изменяют количество зубьев, охватываемых общей нормалью, в диапазоне от Z_{\min} до Z_{\max} . Величины Z_{\min} и Z_{\max} определены математическими выражениями.

При контроле данными способами существует ряд недостатков, так в первом случае недостатком является необходимость базирования мерительного инструмента по вспомогательной базе - окружности вершин зубьев, что снижает точность контроля, во втором - то, что при выборе Z_{\max} не учитывается влияние фаски на вершине зуба, а это снижает точность контроля.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка экспериментально-