

ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗУБОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Марголит Р.Б., Липатов С.И. (РИ(ф)МГОУ, ООО РСЗ, г. Рязань, Россия)

Main drive design issues for CNC gear milling machines are being treated in the paper. Drive requirements: adjustable speed, high torques in the working speed range, high production cutting with gear milling hobs made of advanced cutting materials.

Освоение производства зубофрезерных станков с ЧПУ является весьма актуальной задачей. Зубофрезерование длительное время оставалось одним из немногих видов механообработки, которое не претерпевало существенных изменений в сторону повышения производительности. Сдерживающими факторами являлись отсутствие существенного прогресса в улучшении режущих способностей червячных фрез и сохранение традиционных решений конструкции зубофрезерных станков [1].

В последние годы обстановка существенно изменилась. Появились высокоскоростные червячные фрезы из новых материалов: порошковых быстрорежущих сталей со сверхтвёрдыми покрытиями и твёрдых сплавов. Скорости резания при работе по стали быстрорежущими фрезами могут достигать 150 м/мин взамен традиционных 25 – 50 м/мин [2], а высокая режущая способность твёрдых сплавов позволяет поставить на повестку дня замену зубошлифования закаленных венцов зубофрезерованием.

Цели и задачи данной работы заключаются в создании одного из важнейших

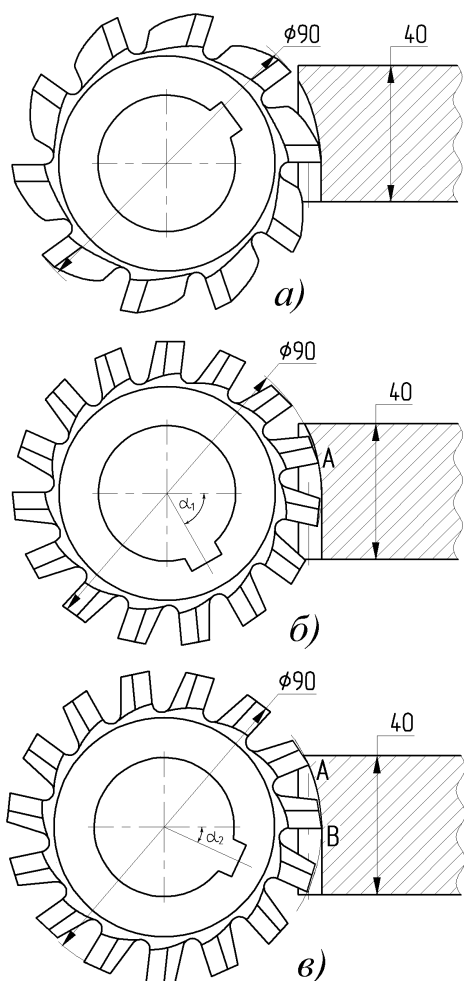


Рис. 1. Контакт фрезы с заготовкой в проекции 1

узлов – привода главного движения в зуборезных станках с ЧПУ. Именно такие станки благодаря высокой точности, бесступенчатым регулируемым приводам главного движения и подач смогут удовлетворить требованиям работы в новых условиях. Одновременно, освоение их производства поставило перед изготовителями станков ряд задач, ответ на которые опыт эксплуатации ранее выпускаемых станков дать не мог.

Анализ характеристик традиционных зубофрезерных станков показывает, что станки подразделяют на четыре группы I – IV в зависимости от размеров обрабатываемых деталей и мощности приводов главного движения, в которых используют асинхронные двигатели, мощность которых не превышает соответственно для первых трех групп 3, 4, 9 и превышает 10 кВт для станков группы IV [3],[4]. Верхний предел частот вращения шпинделей находится в пределах 200-600 об/мин, большие значения частот вращения используют обычно при обработке цветных металлов и легких сплавов. В конструкции главного привода используют массивный маховик на шпинделе для сглаживания неравномерности усилий резания.

Необходимо получить ответ, какими силовыми и скоростными характеристиками должны обладать приводы главного движения зубофрезерных станков с ЧПУ и какими техническими средствами такие приводы можно реализовать. Маховик из конструкции привода желательно исключить, обеспечив плавность работы иными путями.

С целью решения поставленных задач авторами проанализирован процесс зубофрезерования, определены источники и характер цикличности нагрузки, а затем на основе анализа предложены кинематика и конструкция главного привода зубофрезерного станка.

Поскольку попутное зубофрезерование, в отличие от встречного, более благоприятно с точки зрения нагрузки на главный привод и режущий инструмент, все исследования, включая практическую проверку, выполнялись для условий попутного фрезерования.

Нагрузка на главный привод пропорциональна суммарной длине всех режущих кромок фрезы, находящихся в контакте с заготовкой. В процессе обработки эта длина непрерывно изменяется, что приводит к циклическому изменению величины нагрузки. Характер изменения длины работающих режущих кромок фрезы можно наглядно наблюдать, рассматривая место контакта фрезы с заготовкой в двух взаимно перпендикулярных проекциях, которые обозначим цифрами 1 и 2.

Проекция 1. Если смотреть на обработку с торца червячной фрезы (рис.1), то можно увидеть, как каждый ряд зубьев фрезы входит в работу и выходит из нее. В зависимости от числа рядов зубьев возможны ситуации *а), б) и в)*:

- *а)* если число рядов сравнительно невелико, то последующий ряд зубьев входит в обработку в то время, когда предыдущий ряд уже вышел из работы и нагрузка упала до значений холостого хода главного привода;

- *б) и в)* если увеличивать число рядов, то большее число рядов зубьев А и В будет работать одновременно, а перерывы в работе будут отсутствовать. «Пики нагрузки» накладываются друг на друга во времени.

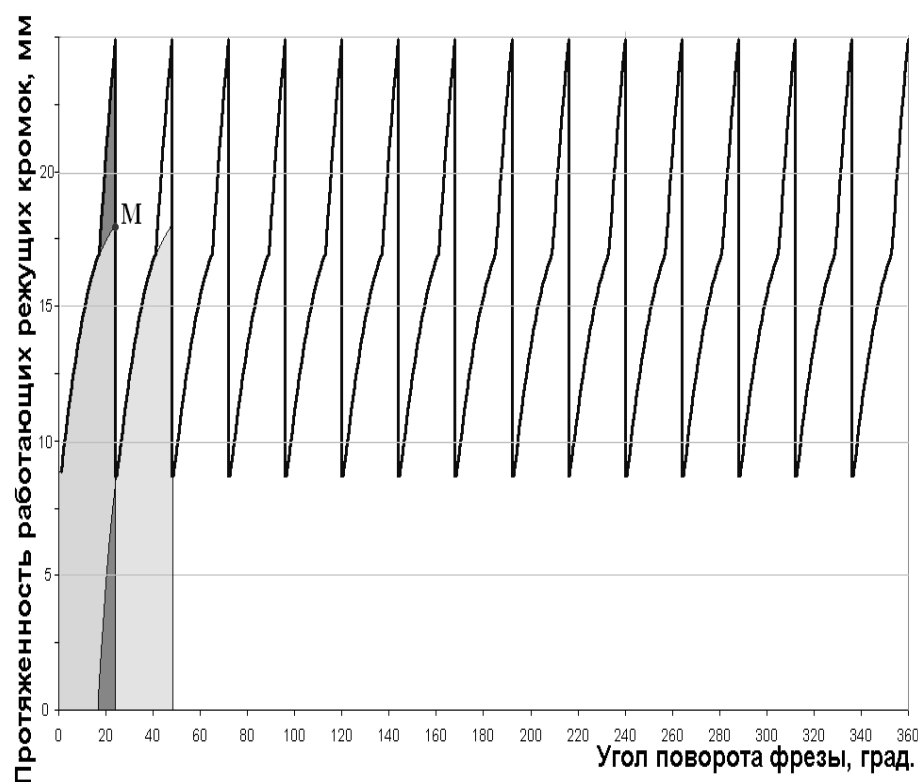


Рис. 2. Изменение суммарной длины работающих режущих кромок за один оборот фрезы от действия фактора 1

Назовем возникновение описанной неравномерности длины одновременно работающих режущих кромок действием фактора 1, отражающего вход в работу-выход из работы зубьев фрезы.

В этой проекции, начиная с момента касания заготовки зубьями фрезы, суммарная длина работающей режущей кромки стремительно возрастает по логарифмическому закону (рис.2).

После достижения максимального значения она

резко уменьшается в момент выхода ряда зубьев из обработки. Форма каждого «пика нагрузки» определяется двумя его сторонами – нелинейной левой и отвесной правой. Контакт фрезы с заготовкой в проекции 2 (вид с торца заготовки) показан на рисунке 3.

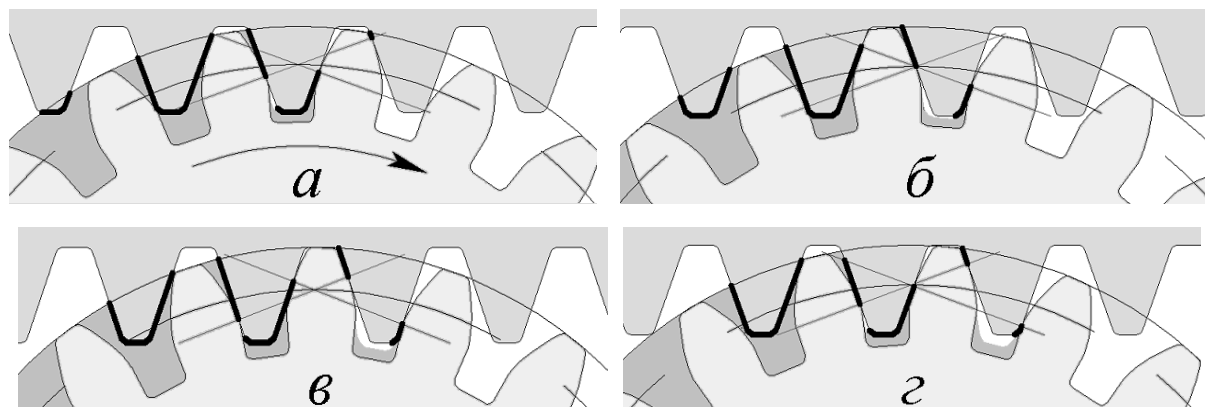


Рис. 3. Контакт фрезы (сверху) с заготовкой (снизу) в проекции 2 в четырех угловых положениях: а, б, в, г

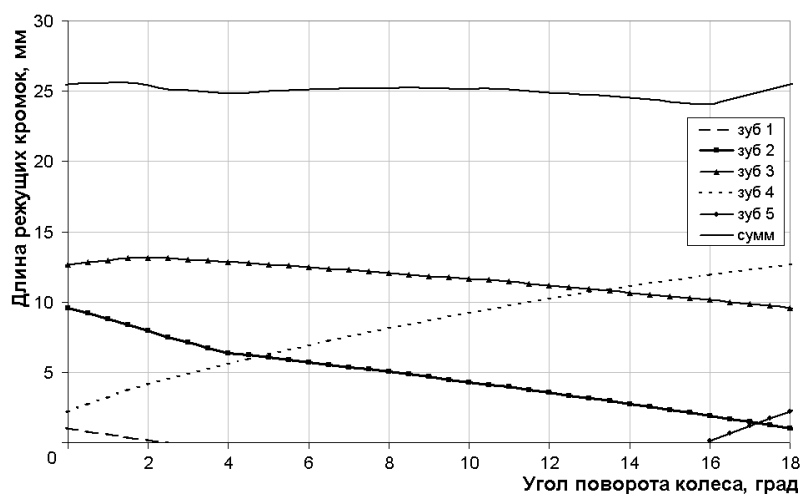


Рис. 4. Изменение длины режущих кромок от действия фактора 2

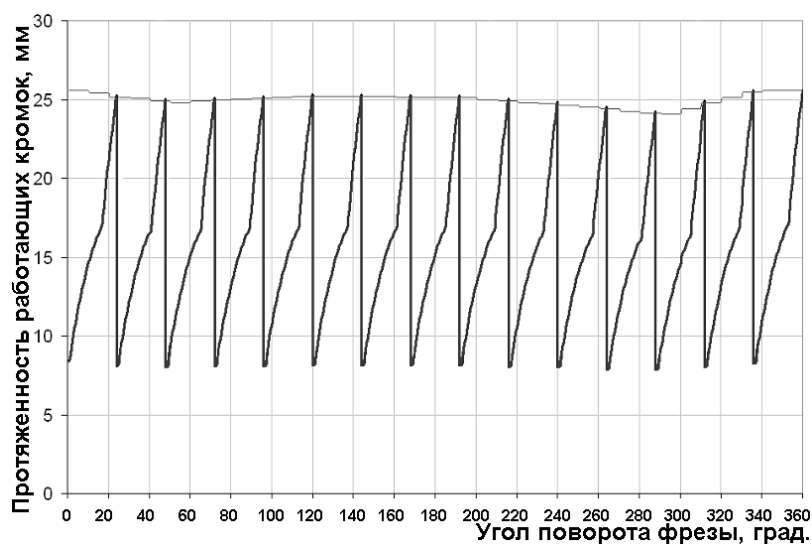


Рис. 5. Изменение суммарных нагрузок от действия обоих факторов

В проекции 2 с торца обрабатываемой заготовки (рис.3), также можно наблюдать изменение длины режущих кромок у каждого ряда зубьев фрезы (рис.4).

Величины длин в проекциях 1 и 2 были просуммированы (рис.5). Доминирующее влияние оказывает фактор 1 входа-выхода зубьев фрезы над фактором 2 входа-выхода зубьев заготовки.

Неравномерность нагрузки весьма существенна, и максимальные значения превышают минимальные не менее чем в три раза.

Выполненный анализ изменения нагрузки при резании позволил перейти к проектированию главного привода зубофрезерного станка с ЧПУ. Рассмотрены характеристики ряда частотно-регулируемых приводов отечественного и зарубежного производства, кото-

рые могут быть использованы в зубофрезерном станке с ЧПУ.

Одной из привлекательных особенностей таких приводов является возможность электродвигателей работать в нормальном режиме S1 и в режимах кратковременной перегрузки S3-S6. В режимах перегрузки электродвигатель может определенное время (в процентах от основного времени) работать с мощностью, превышающей номинальную до 1,8 раза.

Другой особенностью приводов, которая существенно влияет на их силовые характеристики, является наличие участка возрастания мощности от нуля до номинального значения $P_{ном}$ при увеличении частоты вращения двигателя от нуля до номинального значения $n_{ном}$.

Поскольку зубофрезерование выполняется на относительно малых частотах вращения режущего инструмента, то между двигателем и шпинделем станка необходима редукция, которая одновременно повышает вращающий момент на шпинделе. В таблице 1 рассмотрены характеристики приводов с четырьмя двигателями фирмы Siemens: 1PH4135-4NF26, 1FT6086-8WF7, 1FT6086-8WH7 и 1FT6086-8WK7, первый двигатель асинхронный, остальные синхронные, все работают с водяным охлаждением. Первый является двигателем, созданным фирмой Siemens для приводов главного движения металлорежущих станков. Остальные три двигателя предназначены для приводов подач станков. Своеобразие зубофрезерования и отличие его от других видов металлообработки создало предпосылки для использования в зубофрезерном станке для привода главного движения именно двигателей, предназначенных для приводов подач.

Различные сочетания двигателей при двух режимах их работы и редукторов создали 14 различных возможных вариантов привода, которые проанализированы на предмет пригодности для зубофрезерных станков.

Расчет силовых характеристик привода проведен в табличном процессоре MS Excel и включил в себя вычисления значений мощности (кВт) на шпинделе при частоте его вращения от 100 до 500 об/мин через 10 об/мин и значений вращающего момента (кНм) на шпинделе при частоте его вращения от 0 до 500 об/мин через 50 об/мин. Посредством этой программы были проведены расчеты для всех вариантов привода, построенных на основе:

- асинхронных электродвигателей с частотным регулированием 1PH4 135 для приводов главного движения с ременной передачей и без нее;
- синхронных электродвигателей 1FT6086, предназначенных для приводов подач, и червячных беззазорных редукторов со значениями передаточных отношений от 5,2 до 14,5.

Каждый из вариантов просчитывался в двух режимах:

- 1) S1 – режим нормальной рабочей нагрузки;
- 2) S3 и S6 – режимы перегрузки, которая действует в течение соответственно 40% и 25% времени от времени всего цикла работы.

Именно режим перегрузки наиболее соответствует работе зубофрезерного станка, при которой нагрузка носит циклический характер. Для легких зубофрезерных станков можно рекомендовать привод с использованием двигателя 1FT6086-8WF7 и редуктора с передаточным отношением 5,2; для средних станков – двигателя 1FT6086-8WH7 и редуктора с передаточным отношением 10,25; для тяжелых станков – двигателя 1FT6086-8WK7 и редуктора с передаточным отношением 14,5.

По результатам расчетов построена диаграмма (рис.6), выявившая «слабые» характеристики привода с использованием двигателя 1PH4135-4NF26, не соответствующие требуемым режимам зубофрезерования. Хотя его номинальная мощность 22

кВт достаточно велика, при передаточном отношении 1 он развивает на шпинделе при 100 об/мин всего 1,6 кВт, а при передаточном отношении 2 – 3,2 кВт.

Полностью используются мощность $P_{дв}$ и вращающий момент $T_{дв}$ регулируемого двигателя, когда частота вращения шпинделя находится в диапазоне значений от номинального $n_{ном. шп.}$ до максимального $n_{макс. шп.}$. В таблице 1 и на рис.6 видно, что этот диапазон в режиме S1 составляет: для легких станков от 675 до 770 об/мин, для средних станков 420 – 585 об/мин, для тяжелых станков 448 – 550 об/мин. Для червячной фрезы диаметром 90 мм такие частоты соответствуют скоростям резания от 120 до 215 м/мин.

Таблица 1. Характеристики приводов различного исполнения

№ привода	Двигатель	Режим	$P_{ном.дв.}$ кВт	$n_{ном.дв.}$ об/мин	$T_{ном.дв.}$ кНм	i	$n_{ном. шп.}$ об/мин	$n_{макс. шп.}$ об/мин
1	1PH4135-4NF26	S1	22	1500	0,140	1	1500	1500
	1PH4135-4NF26	S6-25%	31	1500	0,197	1	1500	1500
2	1PH4135-4NF26	S1	22	1500	0,140	2	750	1500
	1PH4135-4NF26	S6-25%	31	1500	0,197	2	750	1500
3	1FT6086-8WF7	S1(100K)	16,9	3510	0,046	5,2	675	770
	1FT6086-8WF7	S3-40%	19,1	3250	0,056	5,2	625	770
4	1FT6086-8WF7	S1(100K)	16,9	3510	0,046	7,25	484	550
	1FT6086-8WF7	S3-40%	19,1	3250	0,056	7,25	448	550
5	1FT6086-8WF7	S1(100K)	16,9	3510	0,046	10,25	342	390
	1FT6086-8WF7	S3-40%	19,1	3250	0,056	10,25	317	390
6	1FT6086-8WH7	S1(100K)	21,2	4310	0,047	10,25	420	585
	1FT6086-8WH7	S3-40%	23,2	3950	0,056	10,25	385	585
7	1FT6086-8WK7	S1(100K)	29,3	6500	0,047	14,5	448	550
	1FT6086-8WK7	S3-40%	34,6	5900	0,056	14,5	407	550

Варианты приводов 1, 2 и 6 из таблицы 1 проверены в ходе производственных испытаний первого опытного образца станка мод. 53P32Ф6 с диаметром обработки до 500 мм, который относится к зубофрезерным станкам среднего типоразмера. Подтвердилась возможность исключить маховик из конструкции привода. Этому способствует использование в редукторах беззачервячных червячных передач при высокой круговой жесткости привода.

На станке нарезали незакаленные и закаленные зубчатые венцы модулей от 3 до 8 мм. Испытания подтвердили правильность выполненных расчетов. Как и ожидалось, приводы по вариантам 1 и 2 показали неудовлетворительные результаты, при резании происходили вибрации, а нарезание венцов с модулями свыше 3 мм приходилось во избежание перегрузки и отключения привода выполнять в два прохода.

Остановились на варианте привода с двигателем 1FT6086-8WH7 и беззачервячным редуктором с передаточным отношением 10,25. При таком приводе нарезание червячной фрезой со сверхтвердыми покрытиями венцов модуля 8 в один проход под последующее зубошлифование происходит без вибраций и перегрузки привода. При пиковых перегрузках автоматически включается режим S3, для чего в устройстве

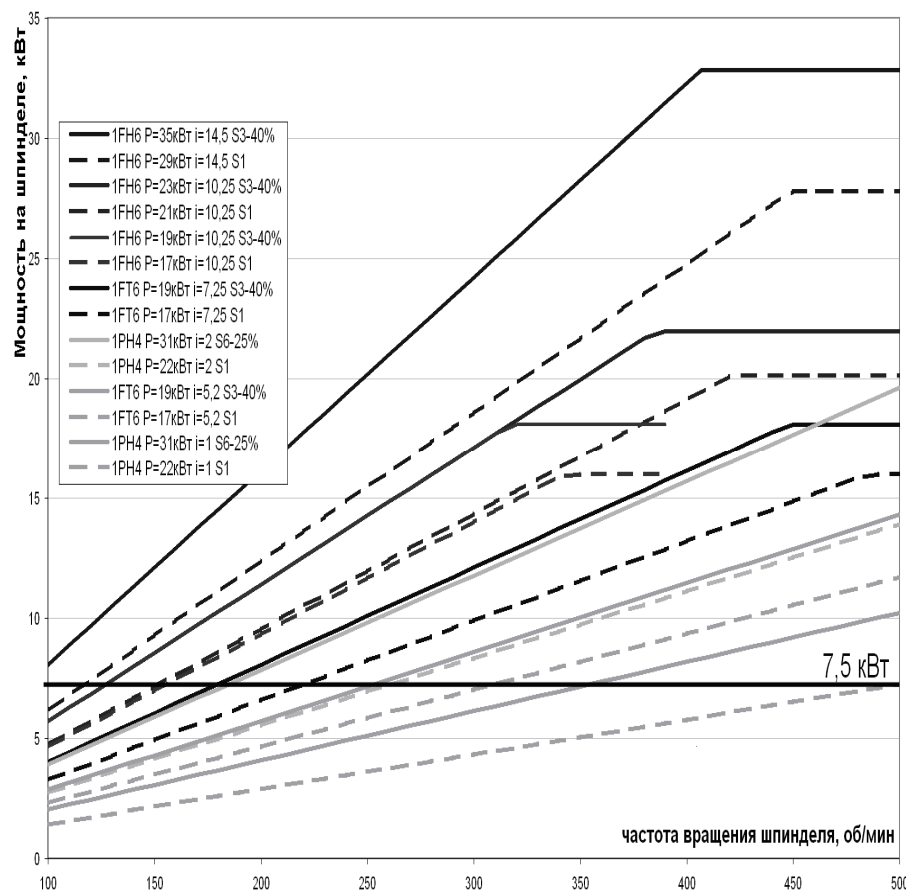


Рис. 6. Графики силовых характеристик вариантов главного привода

ЧПУ в параметрах привода установлена возможность работы с нагрузкой 200%. Поскольку перегрузка кратковременна (рис. 5) перегрев двигателя не наблюдается.

Нарезание фрезой Ø90мм из порошковой быстрорежущей стали со сверхтвёрдым покрытием партии колес модуля 3 мм из Ст45 под последующее зубошлифование со скоростью резания 145 м/мин (частота вращения 512 об/мин) с осевой подачей 3 мм за оборот заготовки дает повышение производительности в 5 раз.

При фрезеровании твердосплавной фрезой класса точности AAA со скоростью резания 70м/мин зубчатых венцов, закаленных до твердости HRC 48, достигнута точность колес, соответствующая 5 степени по ГОСТ 1643-81. Подтверждена возможность при использовании высокоточных станков с ЧПУ замены зубошлифования фрезерованием.

Выполненная работа явилась теоретической основой проектирования и изготовления для гаммы станков с ЧПУ с диаметрами обработки 320, 500 и 800 мм бесступенчато регулируемых приводов главного движения, отвечающих широкому спектру требований зубофрезерования от высокопроизводительного по целому материалу до финишного взамен зубошлифования.

Список литературы: 1. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. — М.: Машиностроение, 2004. 480 с. 2. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; под общ. ред. И.А. Ординарцева. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1987. 846 с. 3. Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: справочник / под ред. Г.А. Харламова. — М.: Машиностроение, 2007. 240 с. 4. Овумян Г.Г., Адам Я.И. Справочник зубореза. — М.: Машиностроение, 1983. 223 с.

Сдано в редакцию 16.01.2009