

цов А.П. Металургійна термомеханіка – Дніпропетровськ: Системні технології, 2002–633с. ISBN 966-7316-69-6. **12.** Тимошпольский В.И., Постольник Ю.С., Андрианов Д.Н. Теоретические основы теплофизики и термомеханики в металлургии. Минск: Беларуская навука; 2005–560с. ISBN 985-08-0622-2. **13.** Бутенко В.И. Нелинейность процессов при обработке металлов резанием. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001–224с. **14.** Постольник Ю.С., Огурцов А.П. Усовершенствование расчета радиационного нагрева массивных тел компьютеризацией уточненной аналитической методики // «Прогрессивные технологии и системы машиностроения» – Международный сб. науч. Тр. – Донецк: ДонГТУ, 2001г., в. 17 – С.179-184. **15.** Видин Ю.В. Неустановившееся температурное поле в плите при совместном действии теплового измерения и конвекции // «ИФК», 1967, т. XII, №5 – С.669-671.

Сдано в редакцию 15.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ПОСЛЕДНЕЙ СТАДИИ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сошко В.А., Макаров С.Н. (ХНТУ, г Херсон, Украина)

In the paper there are considered aspects of the influence of polymer-included oil-cooled technological environments on the operating inheritance of the steels after various kinds of mechanical processing. Also there was devoted great care to the investigation of such indicators as thin crystal structure and phase content of tooled surfaces which have much influence on the variance of working efficiency of the parts.

Полимерные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) зарекомендовали себя как эффективные смазочно-охлаждающие жидкости и вместе с тем они ограниченно применяются на практике [1]. Одной из причин этого - недостаточная изученность механизма их действия и технологическая наследственность деталей, изготовленных с применением полимерсодержащих СОТС.

Известно, что резание поликристалла сопровождается изменением формы зерен, изменением их ориентировки и образованием текстуры, появлением остаточных деформаций, развитием внутрикристаллических и межкристаллических нарушений. Все эти процессы и явления изменяют физические и механические свойства обработанной поверхности, которые при прочих равных условиях определяют эксплуатационные свойства изделий.

Поскольку СОТС на полимерной основе обладают высокой эффективностью, а, значит обладают и высокой физико-химической активностью, то такие среды должны изменять и физико-химическое состояние поверхностных слоев обработанного материала, т.е. в конечном счете влиять на работоспособность металлических изделий.

В связи с изложенным представляет научный интерес и имеет большое практическое значение изучение механизма формирования комплекса поверхностных свойств металла после механической обработки в присутствии полимерсодержащих СОТС.

Известно, что введение в СОТС полимера определенного химического состава, не изменяет в целом химическую активность среды. В то же время в результате реакции деполимеризация полимерной составляющей в зоне резания происходит превращение полимерной присадки в чрезвычайно химически активную среду, которая действует только в зоне обработки, влияя на свойства деформируемого материала [2,3].

Механохимические процессы в зоне механической обработки которые имеют место вследствие деполимеризации полимерной компоненты СОТС, изменяют механизм процесса резания, а также механическое и физическое состояние обрабатываемых металлических поверхностей и эксплуатационные характеристики изделий [3].

В настоящем сообщении приведены результаты исследований основных эксплуатационных характеристик стали после шлифования в полимерных СОТС – сопротивление усталости и коррозионной усталости, определяющие во многих случаях работоспособность деталей машин. В работе также было уделено внимание изучению таких показателей, как тонкая кристаллическая структура и фазовый состав обработанной поверхности, что во многом объясняет причины изменения работоспособности изделий. Для этого использовался рентгенографический анализ [4], с помощью которого определяли величину блоков мозаик, искажения второго рода и содержание остаточного аустенита. Все указанные характеристики и остаточные напряжения 1-го рода определяли после шлифования образцов в воде и в воде с добавкой полимера (поливинилхлорида).

Как видно из профилограммы обработанной поверхности (рис.1), ее шероховатость снижается при добавлении полимера к воде.



Рис.1. Профилограмма поверхности образцов из стали 9ХС (HRC 38...37) обработанных точением: 1 – вода с добавкой латекса ПВХ; 2 – вода. (Режим резания: $t = 3$ мм, $S = 0,1$ мм/об, $V = 1$ м/с; резец оснащен твердосплавной пластиной Т15К6)

Эффективность влияния полимерной добавки, т.е. в данном случае получаемая степень шероховатости поверхности, зависит от твердости металла, подачи режущего инструмента (рис.2) и скорости обработки (рис.3). Наблюдаемые эффекты в общем случае связаны с облегчением процесса резания, что по-видимому обусловлено снижением энергосиловых параметров обработки [2].

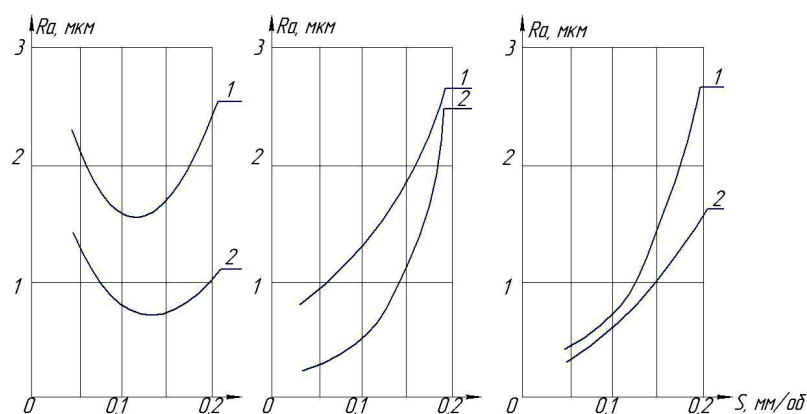


Рис.2. Изменение шероховатости обработанных поверхностей (R_a) в зависимости от подачи (S) при точении образцов из стали 9ХС термообработанных на различную твердость HRC 38...37 (а), HRC 57...56 (б), HRC 61...63 (в); в составах: 1 – вода; 2 – вода с добавкой 1,5% ПВХ. (Режимы резания см. рис. 1)

Распределение микротвердости по глубине образцов из стали 9ХС имеющих твердость 46...49 HRC показывает, что введение полимера (ПВХ) в воду приводит к снижению микротвердости на поверхности образца после точения (рис.4). Так, например, при введении в воду 1,5% латекса ПВХ микротвердость на поверхности снижается с 7,5 ГПа до 5,1 ГПа; а при введении в масло МС – 12 1,5% полиэтилена поверхностная микротвердость снижается с 5,9 до 4,8 ГПа.

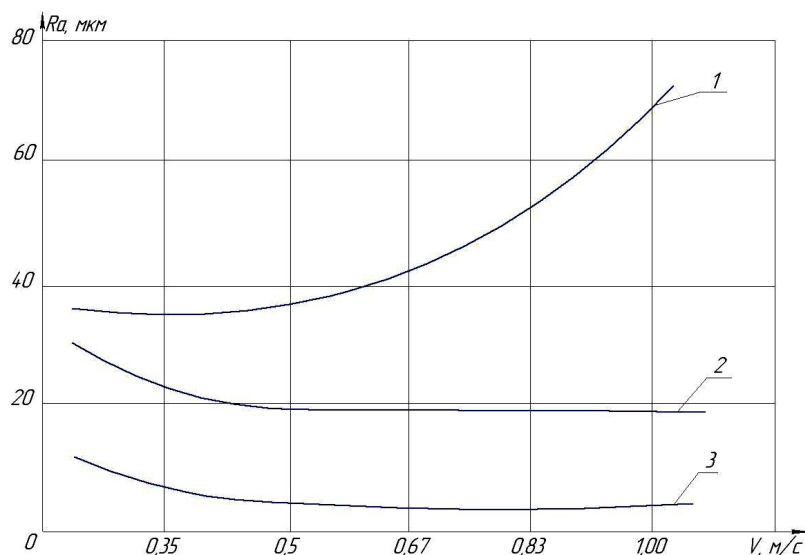


Рис. 3. Изменение шероховатости поверхности (Ra) обработанных образцов из стали 9ХС (HRC 46...49) от скорости точения (V): 1 – обработка в воде; 2 – обработка в газообразном водороде; 3 – обработка в воде с добавкой ПВХ (1,5%). Режимы резания: S=0,25 мм/об, t= 1 мм; резец оснащен пластиной из твердого сплава Т15К6

Характерным для полученных зависимостей является то, что хотя введение полимера в жидкость приводит к снижению микротвердости на поверхности, однако уже на глубине, примерно, 10 мкм микротвердость при обработке в среде с полимером значительно больше, чем в среде без полимера. Причем превышение микротвердости сохраняется на сравнительно большом расстоянии от поверхности (35 мкм). Аналогичный характер распределения H_{μ} имеет место и для других структур, хотя количественно они отличаются.

При точении стали 9ХС различной твердости в различных средах (рис.3, табл.1) в поверхностном слое образцов образуются упрочненные слои различной глубины. На образцах сорбитной (HRC 38-37), и трооститной структуры (HRC 28-37) глубина упрочненного слоя достигает 35-40 мкм и в микроструктуре видны пластически деформированные слои более высокой микротвердости по сравнению с сердцевиной образца. На образцах из стали мартенситной структуры (HRC 57...64), образуются нетравящиеся белые слои глубиной до 10 мкм. Глубина упрочненных слоев с увеличением подачи возрастает от 3 до 10 мкм. Они представляют собой карбиды, остаточный аустенит, размер частиц которого на порядок меньше по сравнению с обычной закалкой, и сильно дисперсный мартенсит [4]. Воздействие водорода и активных низкомолекулярных углеводородов, образовавшихся в результате деструкции полимерной составляющей, на формирование белых слоев пока неясно и требует отдельных исследований.

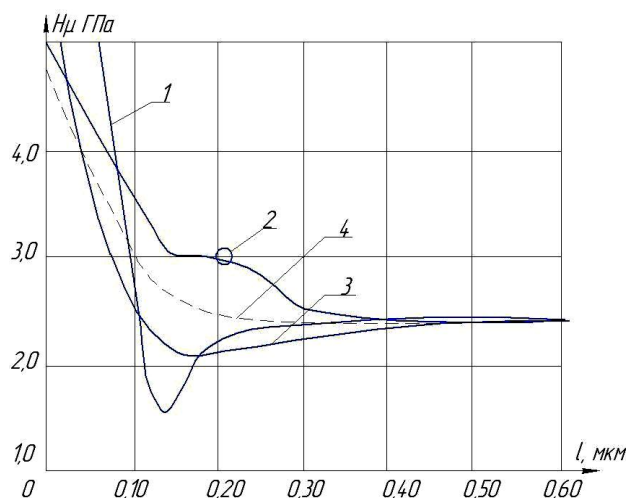


Рис.4. Характер распределения микротвердости (H_{μ}) по глубине (h) после точения стали 9ХС (HRC 46...49) при $V=1,5$ м/с, $S=0,25$ мм/об, $t=1$ мм: 1 – обработка в воде; 2 – обработка в воде с добавкой ПВХ; 3 – обработка в масле ИС-12; 4 – обработка в масле ИС-12 с растворенным полиэтиленом (1,5%)

Таблица 1. Величина микротвердости H_{μ} (ГПа) на поверхности образца после точения в различных средах для различных твердостей стали 9ХС

твердость HRC	Среда			
	вода	Масло И-12	Вода+1,5% латекс ПВХ	И-12+1,5% ПЭ
30...32	14,1	10,8	12,4	8,3
36...37	12,1	7,5	9,7	5,3
57...58	7,5	5,9	5,1	4,8
63...64	4,8	4,6	4,5	4,2

Интенсивное протекание и распространения на большую глубину пластических деформаций при резании стали 9ХС сорбитной и трооститной структур после обработки в полимерсодержащей среде можно объяснить влиянием активных низкомолекулярных углеводородных продуктов и, главным образом, водорода на процесс пластического деформирования.

При обработке закаленных, дисперсно-упрочняемых сталей, дополнительное упрочнение по-видимому происходит в результате накопления большого числа дислокаций, движение которых тормозится не только локальными мелкими выделениями [5,6], но и диффундирующими в сталь атомами, образующимися при термодеструкции полимеров (углерод, азот и др.).

Таким образом, формирование микрорельефа обработанной поверхности при резании можно рассматривать как результат одновременного проявления различных механизмов: пластической деформации у вершины движущейся трещины, ее ветвления и пластической деформации происходящей при трении задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью [7,8]. Таким образом, специфическое влияние полимерных СОТС следует связывать с образованием активных низкомолекулярных продуктов в зоне обработки и их взаимодействия с деформируемым материалом. Что касается изменения микротвердости поверхностных слоев метал-

лов при обработке в полимерсодержащих СОТС по сравнению с обычными, то этот процесс объясняется микролегированием, активированным присутствием водорода и тормозящим движением дислокаций и повышением их плотности, снижением предельного напряжения пластического течения материала [7,8].

Ниже приведены результаты исследования влияния шлифования, выполненного с использованием полимерсодержащего СОТС, на циклическую прочность высокоуглеродистой стали 9Х9 различной твердости.

Испытания на усталость проведены на воздухе и в 3%-м растворе *NaCl*, имитирующем морскую воду, при циклическом чистом изгибе с частотой нагружения 50 Гц.

Коррозионная среда, как известно, более чувствительна к физико-механическому состоянию и к качеству материала поверхностных слоев изделий, чем воздух, поэтому проводились сравнительные испытания на воздухе и в коррозионной среде.

Рабочую часть стальных образцов для испытания на усталость диаметром 20 мм шлифовали кругом 24А40 НСМК ПП. В качестве правящего инструмента использовали алмазный карандаш СЗ. Окружная скорость шлифовального круга достигала 60 м/с, а обрабатываемых образцов 1,0 м/с. Поперечная подача не превышала 1,0 мм/мин., припуск на шлифовку, оставлял 0,05 мм за один проход.

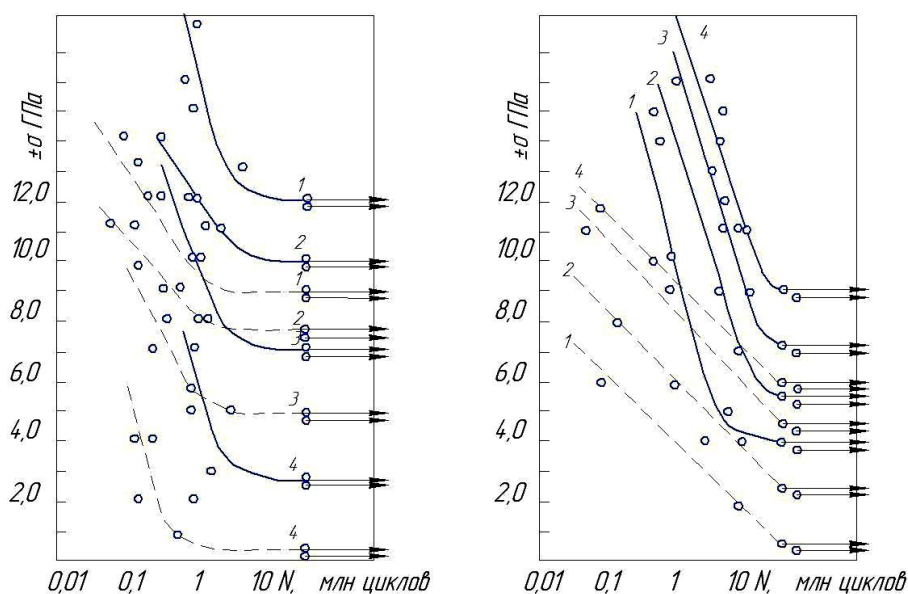


Рис.5. Кривые усталости (а) и коррозионной усталости (б) образцов из стали 9ХС после шлифования в традиционной СОТС – пунктирные линии и полимерсодержащей (1% ПВХ) – сплошные линии, термообработанных на различную твердость (HRC): 1 – 61...64; 2 – 57...59; 3 – 44...48; 4 – 32...36

Шлифование выполняли в двух СОТС - 1,5%-ный раствор соды в водопроводной воде и раствор, состоящий из латекса поливинилхлорида (1% по сухому остатку), соды (1,5%) и водопроводной воды (остальное).

Результаты показали, что шлифование стали в полимерсодержащей среде повышает ее сопротивление усталостному разрушению как на воздухе, так и в коррозионной среде. Однако с увеличением метастабильности стали эффект повышения циклической прочности образцов возрастает (рис.5а), что объясняется улучшением физико-

механических свойств и действием остаточных напряжений сжатия, возникающих в поверхностных слоях деталей при шлифовании. При увеличении содержания углерода в приповерхностных слоях образцов и метастабильности металла могут появиться также остаточные напряжения растяжения, понижение твердости и ухудшение тонкой кристаллической структуры.

Таким образом, полимерсодержащие технологические среды, повышая режущую способность абразивных зерен и активируя процесс резания, способствуют также повышению эксплуатационных характеристик поверхностных слоев, которые первыми воспринимают максимальные нагрузки и подвергаются воздействию внешней среды при испытании на прочность [10].

Интересные результаты получены также при изучении остаточных напряжений. Так, шлифование в полимерном составе стали сорбитной структуры вызывает в поверхностных слоях образцов остаточные напряжения сжатия (рис.6), в то время, как шлифование без полимерной добавки – напряжения растяжения, ухудшающие работоспособность, в частности, сопротивление усталости.

Возникновение растягивающих напряжений свидетельствует об уменьшении в поверхностных слоях удельного объема металла, которое может иметь место, например, при отпуске. При шлифовании в полимерсодержащем СОТС остаточные напряжения сжатия возникают в связи с увеличением наклепа (степени деформации), насыщения углеродом и другими элементами, что, наоборот, приводит к увеличению удельного объема обрабатываемого металла.

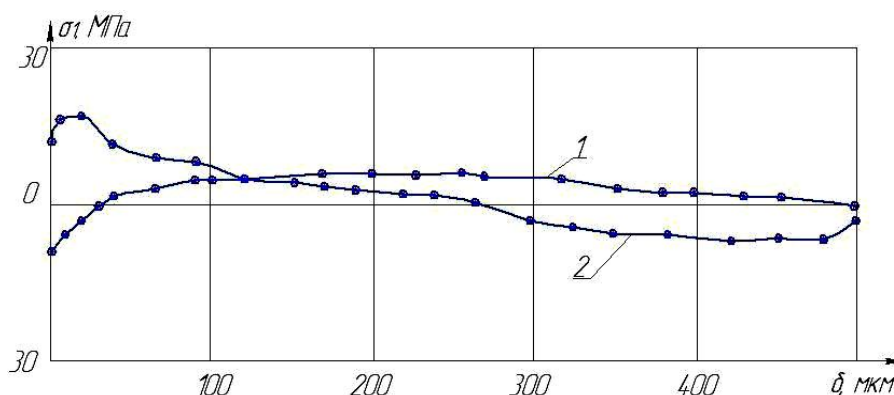


Рис.6. Эпюра остаточных напряжений первого рода после шлифования образцов из стали 9ХС (HRC 36...38) в: 1 – воде с добавкой ПВХ (1%); 2 – воде

После шлифования в тех же условиях стали трооститной или трооститно-мартенситной структуры возникают остаточные напряжения, как в полимерсодержащей, так и в традиционной СОТС. В первом случае напряжения заметно больше по величине (рис.7), что вероятно связано с изменением фазового состава – наблюдается превращение остаточного аустенита в мартенсит, выделение из него углерода, диффузия углерода извне в поверхностный слой обрабатываемого металла, а во многих случаях и вторичная закалка с изменением структуры. Все эти процессы увеличивают удельный объем приповерхностного слоя металла и создают в конечном счете остаточные напряжения сжатия, что способствует повышению работоспособности изделий которые подвергаются на последней стадии механической обработки шлифованием в полимерсодержащей СОТС.

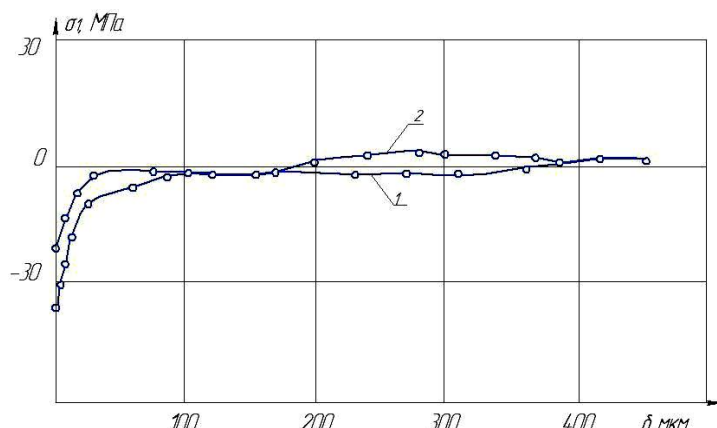


Рис.7. Эпюра остаточных напряжений первого рода после шлифования образцов из стали 9ХС НРС 46...48 в: 1 – воде с добавкой 1% ПВХ; 2 – воде без добавки

Шлифование в воде по сравнению со шлифованием в полимерсодержащей СОТС сопровождается более значительной температурой и давлением в зоне контакта абразивный круг-деталь. При этом растет структурная неоднородность, увеличивается количество остаточного аустенита, образовавшегося в результате вторичной закалки, а увеличение блоков мозаики в поверхностных слоях образцов после шлифования в воде, по-видимому, вызвано отпускком стали (табл.2).

Таблица 2. Тонкая кристаллическая структура стали после шлифования в различных средах

Сталь	Среда	Величина блоков, нм	Искажения второго рода $\Delta\%, 10^8$	Количество остаточного аустенита, %
9ХС НРС 46...48	вода	26,67	3,70	5
	вода+латекс ПВХ (1%)	16,40	1,05	не обнаружен

Если увеличение блоков мозаики в основном можно объяснить влиянием более высокой температуры, возникающей в зоне обработки при шлифовании в воде по сравнению со шлифованием в полимерсодержащей СОТС, то на рост искажений второго рода оказал влияние не только температурный фактор, но и более высокий уровень механических напряжений в приповерхностных слоях материала.

Кроме непосредственного влияния на обрабатываемый материал полимерные СОТС оказывают также положительное косвенное влияние: способствует созданию благоприятного структурно-напряженного состояния поверхности обрабатываемых изделий, возникновению остаточных напряжений сжатия, образованию на закаленных сталях специфических структур, улучшают микрогеометрию поверхности. В целом такое структурно-напряженное состояние повышает работоспособность изделий во время их эксплуатации.

Список литературы: 1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием./Под ред. С.Г.Энтелеса, Э.М. Берлинера. – М.:Машиностроение, 1986. – 352 с. **2.** Сошко А.И. О механизме влияния полимерсодержащих смазок на процессы обработки металлов давлением // Физико-химическая

механика материалов. – 1980. – Т.16, № 3. – С.67-70. **3.** Сошко А.И. Механохимическая обработка металлов.// Полимеры в технологических процессах обработки металлов. Киев: Наук. Думка, 1977. С.10-16. **4.** Бабейко Ю.Н. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: Наукова думка, 1988. – 246 с. **5.** Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 496с. **6.** Захаров М.В., Захаров А.М. Жаропрочные сплавы. – М.: Металлургия, 1972. – 367 с. **7.** Фризель Ж. Наклеп и распространение трещины // Атомный механизм разрушения. – М.: Металлургия, 1963. – С.504. **8.** Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. - М.: Металлургия, 1976. – 246 с.

Сдано в редакцию 29.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КООРДИНАТНЫХ ЛИНИЙ ТОНКОСТЕННОГО ЦИЛИНДРА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДЕФОРМАЦИИ

Стрельников В.Н. (АО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

The analysis of coordinate grid modification at a strain of the thin cylinder is carried out. The bending of a median surface without extensions, compression and angular distortions of a coordinate grid impact upon bending deformity through of the cylinder width, it is established. Obtained data are used for a rate of stressed state and optimization of design parameters of elastic rollers in transmissions with intermediate rollers.

Введение. Традиционные конструкции зубчатых и червячных передач во многом исчерпали свои функциональные возможности. Современные тенденции наращивания производительности крупного высокотехнологичного оборудования сталкиваются с непомерным ростом габаритно - весовых характеристик механического привода. Единичные массы редукторов достигли многих десятков и даже сотен тонн, став одним из сдерживающих факторов прогрессивного развития тяжёлого машиностроения. Для повышения нагрузочной способности передающих механизмов используют многопоточные силовые кинематические схемы, в т. ч. с гибкими звеньями, упругие деформации которых упрощают технику дифференцирования силовых потоков. Многократно снижаются нагрузки на зубья, устраняются ограничения по критериям заедания, изгибным и контактным напряжениям, минимизируются габариты и металлоёмкость трансмиссий и приводных устройств. В передачах с промежуточными телами качения ролики выполнены в форме тонкостенных цилиндров – однослойных или многослойных (рис. 1). Определение упругих характеристик промежуточных тел качения – представляет актуальную задачу расчёта и проектирования новых разновидностей высоконагруженных передач зацеплением (рис. 2, 3).

Цель исследований представляет уровень влияния деформации тонкостенного ролика на кривизну и кручение сетки координатных линий.

Содержание работы. Получим формулы для определения изменения кривизны координатных линий срединной поверхности в результате ее деформации. За координатные линии принимаем параметризованную сеть ортогональных координатных линий, являющихся для поверхности линиями кривизны. Вначале получим вспомогательные формулы. Координаты точек недеформированной срединной поверхности обозначим ξ_1, ξ_2 . Введем орты $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{k}$. Орт \vec{e}_1 направлен вдоль линии ξ_1 , орт \vec{e}_2 вдоль линии ξ_2 и орт \vec{k} перпендикулярный к \vec{e}_1 и \vec{e}_2 и образует с ними правую