данных знания о способах обработки, наилучших для конкретного производства типичных конструктивных элементов. Такой подход позволяет практически полностью автоматизировать создание технологии обработки деталей низкой и средней сложности и заметно упростить разработку технологии обработки деталей высокой сложности.

Расширение областей применения CAM–пакетов заключается, в первую очередь, в разработке отдельных модулей (на базе существующих решений) для узких областей использования. Фантазия разработчиков варьируется от решений для деревообработки (например, Router от MasterCAM) до разработки ювелирных изделий (ArtCAM JewelSmith), фурнитуры и даже специальных пакетов для проектирования обуви (Delcam Crispin), обработки зубных коронок в стоматологии (Delcam DentMill) и т.д. Как правило, интерфейс таких пакетов широко использует методику «помощников» (wizard), хотя при желании пользователи могут добавить свои правила обработки, учитывающие традиции предприятия.

Анализ тенденций развития CAM-пакетов может оказаться полезным не только при выборе собственно программы, но и для анализа тенденций развития станков и инструментов. Связано это с тем, что разработчики CAM-пакетов ориентируются на наиболее богатых и успешных производителей. Успех в области машиностроения, как правило, определяется технологическим уровнем предприятия, использованием самого современного оборудования и прогрессивных технологических процессов. Поэтому можно предположить, что требования потребителей такого уровня, которые учитываются при совершенствовании CAM-пакетов, отражают передовые тенденции в развитии машиностроения в целом. Иными словами, тот функционал, который предлагают разработчики CAM-пакетов для «элитных» фирм сегодня, станет стандартом де-факто для тысяч «обычных» потребителей завтра. Поэтому анализ тенденций развития CAM-пакетов, помимо прочего, может оказаться полезным при формулировке технических требований к массовым станкам и инструменту ближайшего будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alan Christman. Technology And Trends In CAM Software. – Article From MMSOnline.com, 01.11.2008. 2. Степанов, А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №3(12); №4(13); №5(14). 3. Краюшкин В. Новая версия Pro/TOOLMAKER – новые возможности высокоскоростной механообработки // Рациональное управление предприятием. – 2008. – №4. – С. 66...70. 4. Иво Липсте Feature Based Machining в Mastercam X3 // CAD/CAM/CAE Observer. – 2008. – №5(41). – С. 62...65; №6(42). – С. 54...56. 5. Иво Липсте, А.Смирнов Июньский CAM–марафон, или даешь Mastercam X4! // CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. – №5(49). – С. 93...96.

УДК 621.833

Бохан С.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКОМ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСЕЙ ТРАМВАЙНЫХ ТЕЛЕЖЕК

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Целью настоящего исследования явилось определение возможности упрочнения осей трамвайных тележек с применением механических накатных устройств с упругим силовым элементом. Технологическую сложность процесса упрочнения методами ППД такого типа деталей определяет необходимость применения больших усилий обкатывания, а использования для их создания гидравлических приспособлений в значительной мере удорожает процесс упрочнения. Отсюда следует потребность в более подробном рассмотрении процессов в зоне кон-

такта ролика с деталью, что в свою очередь позволит оптимизировать режимы обкатывания с целью обеспечения максимально возможной глубины упрочняемого слоя с применением механических обкатных приспособлений.

Формирование микрорельефа при обкатывании поверхностей роликами в значительной степени определяется кинетикой течения металла в зоне пластической деформации, при этом упругопластическая деформация происходит как по всей поверхности контакта ролика с деталью, так и вокруг площадки контакта, которая в зависимости от геометрии инструмента может иметь различную форму и различные геометрические параметры.

Для анализа течения металла процесс обкатки может быть условно разделен на два этапа: вдавливание инструмента в неподвижную поверхность и движение ролика относительно детали при осуществлении подачи. В первом случае происходят процессы, подобные процессам, происходящим при внедрении сферического пуансона в плоскую поверхность. Металл в этом случае выдавливается из-под ролика равномерно и для любого сечения углы охвата ролика металлом детали относительно его оси симметрии будут одинаковы. Наиболее деформированный участок поверхности детали лежит в плоскости, совпадающей с осью вращения ролика и проходящей через точку максимального внедрения профиля ролика в поверхность детали.

Тогда, если рассматривать элементарный участок АВ поверхности детали, лежащий на образующей, сечением $db \times dh$ и конечной длины равной проекции максимальной дуги контакта на образующую детали, то его удлинение можно записать:

$$\Delta l = \cup ACB - |AB|, \tag{1}$$

где AB – длина участка детали, лежащего на ее образующей; $\cup ACB$ – длина дуги контакта, зависящая от радиуса профиля ролика и величины его внедрения в деталь.

Относительное удлинение участка АВ образующей поверхности, получившего мА

ксимальную деформацию при внедрении ролика в неподвижную деталь по дуге АСВ равно:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \tag{2}$$

Эти выводы верны для рассматриваемого случая, если считать, что элементарный участок АВ закреплен на концах и из-за малой величины площади поперечного сечения при изгибе растягивается. Это условие вытекает из положения о сплошности материала и постоянстве объема при пластической деформации.

Для оценки степени деформации поверхности в зоне пластической деформации были предложены разными авторами различные показатели [1,2,3,4]. Так И.В.Кудрявцев предлагал в качестве степени наклепа при ППД использовать отношение диаметра отпечатка шарика к его диаметру, то есть:

$$\varepsilon = \frac{d}{D}. \tag{3}$$

Е.И.Пятосин предложил оценивать степень деформации на основании сравнения площадей лунки вдавливания ролика М и проекции ее на поверхность, перпендикулярную направлению действия силы, то есть на поверхность вдавливания F:

$$\varphi = \frac{M-F}{M} 100\%. \tag{4}$$

Кроме формул (3) и (4) были предложены также другие показатели величины деформации, связанные с изменением размеров зерна и относительным смещением его характерных точек или с изменением твердости материала в зоне деформации и по глубине деформированного слоя [4,5,6].

Все эти эмпирические оценки имеют усредненный характер, так как в них фигурирует либо площадь отпечатка, либо деформация в пределах зерна, в то время как деформация и на-

пряжения по поверхности отпечатка значительно изменяются от центра пятна контакта к его краям. Обкатывание крупногабаритных деталей ведется со значительными усилиями, соответственно требуется и выявление таких характеристик процесса деформации поверхностного слоя обрабатываемой детали, которые позволят определить режимы, обеспечивающие проникновение деформации на необходимую глубину в поверхность при ее обкатывании и установить, когда и при каких условиях возможно разрушение поверхностного слоя.

Показателями критического напряженного состояния поверхности, при котором начинается ее разрушение, называемое шелушением, могут быть или напряжения в участке поверхности, подвергнутом наибольшей деформации, или величина деформации этого участка. Процессу шелушения присущи некоторые специфические черты, а именно, от поверхностей детали отделяются тонкие частицы материала, имеющие вид чешуек или лепестков, и в поверхности возникают трещины, направленные вглубь детали. При шелушении происходит разрушение тонкого поверхностного слоя, непосредственно находившегося в контакте с обрабатывающим инструментом. В то же время сам процесс деформации при обкатывании реализуется в зоне контакта ролика с деталью, в которой и происходят структурные изменения, описанные выше, поэтому и формирование свойств поверхности и ее разрушение будут связаны непосредственно с процессами в зоне контакта.

Формообразование поверхности при обкатке происходит в результате волнообразной деформации с образованием волны металла перед роликом и за ним, что установлено исследованиями кинетики зоны пластической деформации, изложенными выше [7]. Окончательное формирование микрорельефа происходит при выпучивании металла за ролик, то есть когда материал детали выдавливается из-под ролика по касательной к его профилю. Наличие такого движения материала в зоне контакта от точки максимального внедрения ролика в поверхность C_1 в направлении свободной поверхности к точке B_1 (рис.1) способствует отрыву элементарного слоя от обрабатываемой поверхности.

Одновременно с этим при деформации поверхностного слоя и образовании текстуры в результате вытягивания зерен возникают растягивающие усилия внутри рассматриваемого элементарного слоя.

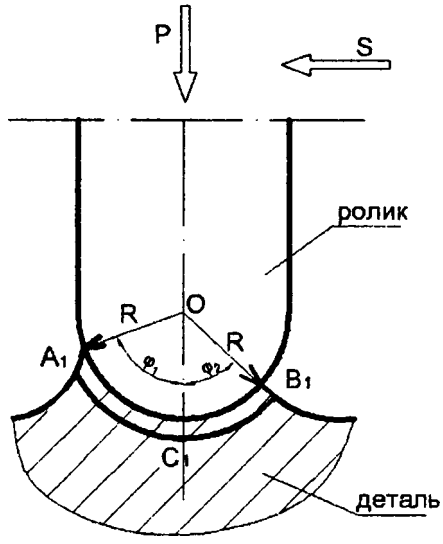

Рис.1. Схема зоны контакта ролика с деталью: осуществление обкатывания с продольной подачей S и усилием обкатывания P

Если растягивающие усилия, суммируясь с движением материала в зоне контакта ролика с деталью, превысят некоторые определенные для данного материала значения, а, следовательно, и величина деформации поверхностного слоя будет больше допустимой, то происходит разрыв элементарного слоя, подвергнувшегося в процессе обкатывания максимальной деформации. Процесс шелушения будет начинаться в тот момент, когда степень деформации элемен-

тарного участка, расположенного непосредственно на поверхности детали в зоне контакта ролика с деталью, превысит допустимую, и условие начала шелушения запишется:

$$\delta > [\delta]. \qquad (5)$$

где: δ – степень деформации участка поверхности детали, подвергнувшегося максимальной деформации при обкатывании, $[\delta]$ – допустимая степень деформации для данного материала.

В соответствии с теорией С.И.Губкина воспользуемся условным методом характеристики деформации, допускающим использование математических формул, описывающих относительное изменение линейных размеров. Так как каждый участок обкатываемой поверхности, в процессе обкатки проходя через зону пластической деформации, подвергается силовому воздействию, величина которого, а, следовательно, и степень деформации поверхности, зависят от положения этого участка на площадке контакта, то следует рассмотреть изменение линейных размеров участка поверхности при его максимальной деформации.

Выделим элементарный прямолинейный участок детали, лежащий на ее образующей. Будем считать, что его деформация происходит независимо от нижних слоев металла, то есть его объем в процессе деформации постоянен. Участок, попадая в зону контакта ролика с обрабатываемой деталью, изгибается, а так как его концы находятся на свободных поверхностях и из условия сплошности материала при пластической деформации будем считать, что они закреплены, то участок будет вытягиваться с уменьшением поперечного сечения, и тогда, с учетом малой величины этого поперечного сечения, имеет место процесс деформации, аналогичный простому растяжению. Если при статическом вдавливании ролика в деталь его внедрение происходит под действием только поперечной силы, то при обкатывании возникает еще и продольное усилие, которое как бы вытягивает зону деформации в направлении подачи. Если при статическом внедрении ролика в поверхность детали под действием поперечного усилия элементарный участок поверхности, лежащий на образующей, растягивается по дуге контакта ACB, то при осуществлении подачи этот участок, определяемый величиной поперечного усилия обкатывания, под действием продольного усилия будет растягиваться по дуге контакта $A_1B_1C_1$ (рис.1).

В результате деформации элементарного участка и его удлинения вдоль зоны контакта под действием продольного усиления обкатывания будут изменяться и величины углов охвата ролика материалом детали φ_1 и φ_2. Осуществление подачи ведет к дополнительной деформации элементарного участка поверхности, равного проекции на образующую детали дуги контакта ролика с деталью при его статическом вдавливании. Дополнительная деформация обусловлена приложением продольного усилия обкатывания и увеличением равнодействующей обеих составляющих усилия обкатывания. Тогда, с учетом формул (1) и (2), можно записать, что величина максимальной деформации поверхностного слоя детали при обкатывании роликом равна:

$$\delta = \frac{\cup A_1B_1C_1 - AB}{AB}, \qquad (6)$$

$\cup A_1B_1C_1 = (\varphi_1 + \varphi_2)R$, где φ_1 и φ_2 – углы охвата ролика металлом детали в направлении подачи и в направлении обратном подаче в радианах; $AB = 2R\sin\varphi_0$, где φ_0 – угол внедрения ролика в деталь относительно оси симметрии его профиля при его статическом вдавливании (рис.1). Значения углов охвата определялись путем фотографирования зоны контакта ролика с деталью в проходящем свете.

С учетом записанных соотношений можно преобразовать выражение (6) следующим образом:

$$\delta = \frac{(\varphi_1 + \varphi_2) - 2\sin\varphi_0}{2\sin\varphi_0}, \qquad (7)$$

Значения углов охвата ролика металлом детали определялись на основании приведенных выше результатов исследований на образцах из стали 20 (рис. 2, 3 и 4). По формуле (7) оп-

ределяется степень деформации наиболее напряженного участка поверхности детали в зоне пластической деформации при обкатывании (рис. 5).

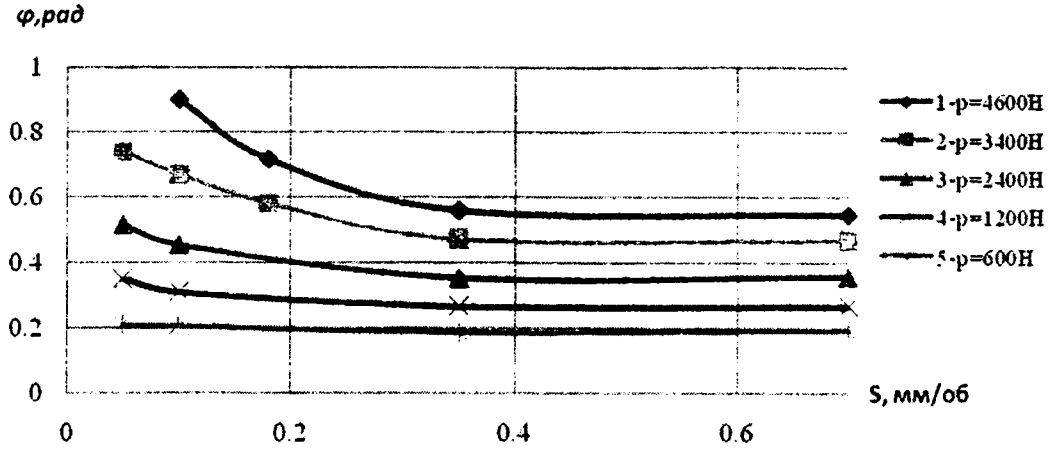

Рис. 2. Зависимость изменения общего угла охвата ролика металлом

В результате проведенных исследований установлено, что процессом деформирования поверхностного слоя детали при обкатывании можно эффективно управлять с помощью изменения соотношения режимов обкатывания. За счет использования подачи до 0,1 мм/об можно достигать значительной деформации поверхностного слоя при относительно небольших усилиях обкатывания, которые можно создавать при помощи упругих деформирующих элементов обкатного приспособления.

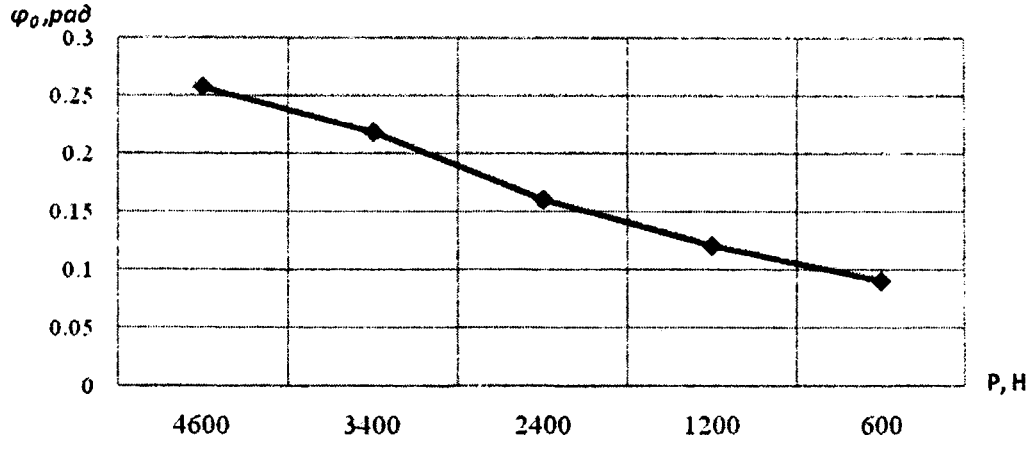

Рис. 3. Зависимость изменения угла внедрения ролика в деталь при статическом вдавливании от усилия обкатывания

В дополнение к установленным закономерностям были проведены исследования на образцах из стали ОсЛ ГОСТ 4728-96, из которой изготавливаются оси колесных пар. Для обеспечения требуемой глубины упрочняемого слоя усилие обкатывания было увеличено до 20кН при одновременном увеличении радиуса рабочего профиля ролика до 10 мм. Обкатывание производилось в один, два и три прохода. Глубина упрочнения определялась с помощью измере-

ния микротвердости поверхностного слоя от поверхности детали в направлении к ее оси. Результаты измерений приведены на рис.6 и рис.7. Образец размером 10x10x10 мм вырезался из поверхности детали таким образом, чтобы поверхность образца, на которой осуществлялось измерение микротвердости, совпадала с плоскостью, проходящей через ось детали.

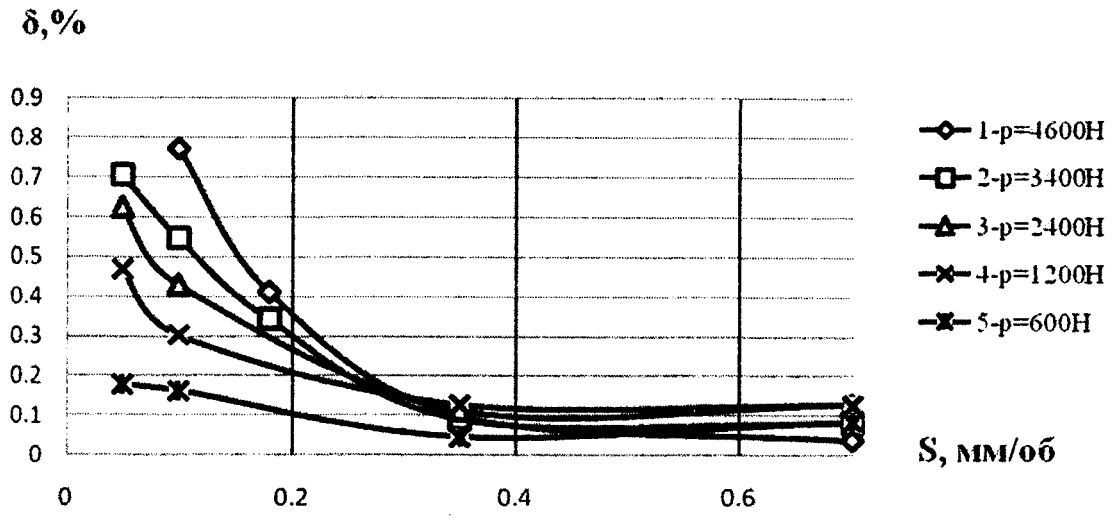

Рис. 4. Зависимость изменения степени деформации поверхностного слоя детали от падачи

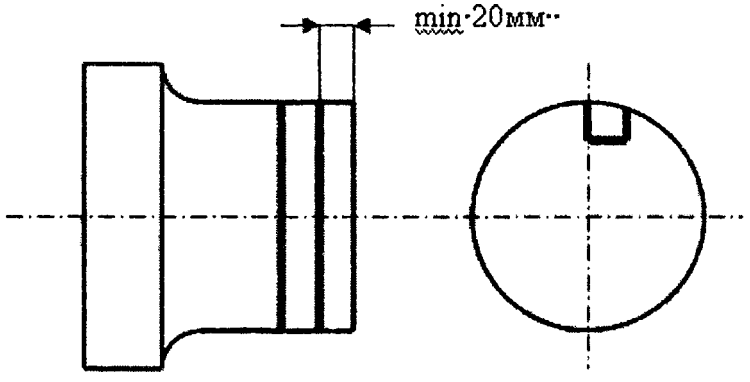

Рис. 5 Схема вырезания образца из поверхности детали для исследования микро твердости и глубины упрочнения поверхностного слоя после обкатывания.

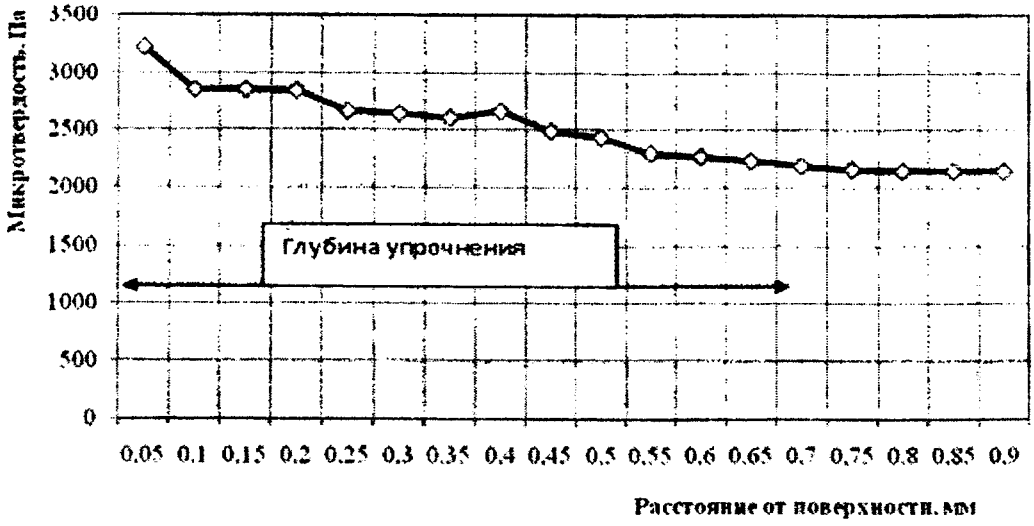

Рис.6. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя после обкатывания роликом с радиусом рабочего профиля 10 мм, подаче 0,1 мм/об, усилии обкатывания 20 кН в три прохода на образцах из стали ОсЛ ГОСТ 4728-96

В соответствии с результатами проведенных исследований была разработана специальная технологическая инструкция по упрочнению поверхностей осей колесных пар и методика контроля глубины упрочненного поверхностного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чепа П.А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным деформированием.- Мн.: Наука и техника, 1981. – 128 с. 2. Браславский В.М. Обкатка роликами как метод повышения качества крупных деталей машин. – В кН.: Производство крупных машин.М., 1975, вып.25. 3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978.-152 с. 4. A.Benamar, J.Lu, J.-F.Flavenot, G.Chalant Galetage d'un acier inoxydable// CETIM-information, №124, Senlis, France,1991.- p.49-54. 5. Баршай И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей после обработки в условиях дискретного контакта с инструментом. – Мн.: УП «Технопринт», 2003.- 244с. 6. Фельдштейн Е.Э., Серенков П.С. Использования методов робастного проектирования Г.Тагучи для анализа и оптимизации процессов поверхностного пластического деформирования.-// Материалы, технологии, инструменты - Гомель, 2005, т.10, №1, с.19-23. 7. Бохан С.Г., Шкинь Н.В. Исследование процесса формирования рельефа поверхности при обкатывании роликом// Машиностроение.- Мн., 2008.- Вып.24.