

Э.Ш. Суходрев, канд.техн.наук,
Е.Б. Калачева, канд.техн.наук

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПЛАСТИЧЕСКИМ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ

Попытки использовать высоколегированные стали для увеличения прочности зубчатого венца удорожают стоимость машин и снижают стойкость режущего инструмента. Поэтому разработаны и широко применяются технологические процессы, направленные на замену зубонарезания более экономичной обработкой металлов давлением.

Существуют следующие методы пластического формообразования зубчатого венца: поперечная и продольная накатка, прямое выдавливание и прошивка, вырубка из листа, холодная и горячая штамповки в открытых и закрытых штампах, радиальная штамповка.

Накатка наиболее рациональна для получения мелкозубчатых колес большого диаметра, требует специальных станков повышенной жесткости с синхронностью вращения накатников и заготовки, тщательной индивидуальной коррекции накатников и не исключает дальнейшую механическую обработку. Достижимая степень точности 8...11. Вырубка из листа применяется для изготовления тонких и неточных зубчатых колес. Радиальная штамповка — процесс дорогостоящий и неточный.

Особенно большое внимание уделяется технологическим процессам получения шестерен с оформлением зубьев путем холодной и горячей штамповки. Однако процессы холодной объемной штамповки зубчатых колес неизбежно связаны с высокими удельными давлениями, возрастающими с увеличением модуля и числа зубьев колеса. Поэтому методы холодной штамповки шестерен широкого распространения не получили.

В Физико-техническом институте АН БССР разработаны новые технологические процессы получения шестерен путем горячей или полугорячей штамповки поковок с готовыми зубьями без обработки или с минимальной механической обработкой зубчатого венца.

Технологический процесс изготовления матриц с эвольвентным профилем из быстрорежущих сталей включает следующие операции: горячую закрытую прошивку напроход при температурах 900...1080°С, полугорячую (700...850°С) и холодную калибровку. Первые две операции осуществляются последова-

тельно в одном и том же штампе с одного нагрева различными/ инструментами на быстроходных кривошипных или коеочных прессах.

При помощи ползуна пресса, предварительно нагретого до $400...450^{\circ}\text{C}$, мастер-пуансоном из быстрорежущей стали с зубчатым профилем прошивают заготовку напроход. Через определенное время, достаточное для того чтобы температура металла заготовки снизилась до температуры его теплой деформации, на заготовке устанавливают нагретый до $400...450^{\circ}\text{C}$ теплокалибровочный мастер-пуансон с более точными исполнительными размерами и при повторном ходе пресса проталкивают его через прошитую матрицу.

Таким образом, теплокалибровочный мастер-пуансон деформирует только поверхностные слои зубчатого профиля матрицы, припуск для которой обеспечивается за счет температурной усадки металла после операции горячей штамповки. В результате деформации поверхностных слоев профиля и выглаживания микронеровностей точность и чистота поверхностей зубчатого профиля матриц резко повышается.

Размеры профиля мастер-пуансонов корректировали с учетом усадки нагретой заготовки и влияния всех последующих операций (отжиг, закалка, бандажирование) на точность профиля матрицы.

С целью полного и равномерного заполнения внутреннего профиля в верхней части матрицы, а также исключения вырывов и сколов металла в ее нижней части внутреннее отверстие прошиваемой заготовки выполняли конусным. Опытным путем установлено, что полуугол конуса в отверстии заготовки находится в прямой зависимости от модуля прошиваемой матрицы. Например, при изготовлении матриц с модулем до 1,5 мм этот полуугол равен $1^{\circ}30'$; если модуль изготавливаемых матриц 1,5...4 мм и 4...8 мм, то полуугол соответственно $2^{\circ}30'$ и $3^{\circ}30'$.

В качестве смазки применяли смесь из 50%-ного карандашного графита и 50%-ного жидкого стекла. Смазку наносили на внутреннюю поверхность и верхний торец заготовки, после чего высушивали по часу при температурах $20; 100; 200^{\circ}\text{C}$. Мастер-пуансоны смазывали в нагретом состоянии несколько раз до тех пор, пока на всей поверхности не оседал тонкий слой графита.

После прошивки и калибровки заготовку матрицы отжигали в чугунной стружке, подрезали торцы и подвергали холодной калибровке на гидравлическом прессе точным зубчатым мас-

тер-пуансоном при обильной смазке, состоящей из 50%-ной олеиновой кислоты, 25%-ного дисульфида молибдена и 25%-ного карандашного графита.

Закалку матриц, изготовленных из быстрорежущих сталей, производили по обычным режимам: отпуск двукратный при 560°C и дополнительный при 620°C по 1 ч. Процесс изготовления матриц (штамповка, отжиг, закалка, бандажирование) сопровождался изменением их линейных размеров вследствие термического расширения, фазовых превращений и т.д. Влияние этих изменений на точность гравюры матрицы учитывалось при конструировании мастер-пуансонов по специально разработанной методике с помощью ЭВМ "Минск-22М". Были определены необходимые значения контролируемых углов профиля мастер-пуансонов и матриц на каждой операции для зубчатых колес с модулями от 1,5 до 3 мм числом зубьев от 12 до 44.

Шестерни, отштампованные в матрицах, прошитых коррегированными мастер-пуансонами по нормам точности, стабильно соответствовали 9-й степени. Шестерни штамповали из сталей 40X, 20XHM и 15XP. Для определения рациональных режимов штамповки и изучения механических свойств указанных сталей были проведены испытания растяжением при скоростях, обычно используемых в кузнечно-штамповочном производстве. Установлено, что температура штамповки поковок шестерен должна быть на $200...300^{\circ}\text{C}$ ниже температур, рекомендуемых ГОСТ 4543-48 и ГОСТ 1050-52. Усилия штамповки в этом случае повышаются незначительно, а качество и структура поковок резко улучшаются. Например, штамповка шестерен из сталей 40X, 15XP и 20XHM при температуре $750 ... 800^{\circ}\text{C}$ (нагрев токами высокой частоты) давала мелкодисперсную структуру с зерном до 13 баллов.

С точки зрения возможности пластического формообразования цилиндрические шестерни делятся на две группы: шестерни, которые можно получить по схеме прессования с пресс-остатком, и шестерни, для получения которых требуются штампы с разъемными матрицами или пресс двойного действия.

Для шестерен, относящихся к первой группе (например, шестерни стартеров автомобилей), использовали простые штампы, позволяющие получать поковки с полностью оформленным зубчатым венцом и плоскими торцами. Для штамповки шестерен второй группы были применены штампы с разъемными матрицами. Было разработано несколько конструкций штампов, позволяющих получать шестерни с модулем от 1 до 5 мм и наружным диаметром до 180 мм.

В результате штамповки поковок в штампах с разъемными матрицами были получены шестерни с довольно высокой точностью. Измерения показали, что колебания эвольвенты шестерен стартеров, отштампованных в заводских условиях, составляли 20...28 мкм, биение по роликам 0,04 мм, отклонения межцентрового расстояния при обкатке в беззазорном зацеплении 0,18 мм, длины общей нормали 0,04...0,06 мм.

Для повышения точности штампуемых шестерен разработан комплексный технологический процесс: штамповка поковок шестерен с минимальным припуском по эвольвенте и последующим чистовым фрезерованием зубчатого контура резцовыми головками с нулевым углом профиля резцов. Способ характеризуется большой исправляющей способностью и с успехом заменяет шевингование. Опыт показал, что шестерни, полученные штамповкой с последующим чистовым фрезерованием, имели 6...7-ю степень точности.

В Физико-техническом институте АН БССР разработан процесс получения цилиндрических шестерен, заключающийся в штамповке с последующей чистовой обкаткой зубчатого венца рейками таких шестерен и механической обработкой торцов и отверстия шестерни. Процесс высокопроизводительный и позволяет получать шестерни с повышенной прочностью.

Испытания на статическую прочность зубьев шестерни стартера СТ-15 из стали 15ХР, термообработанных по заводской технологии (нитроцементация при 920°C , закалка с температуры 840°C в масло, отпуск 200°C), показали, что величина разрушающей силы на изгиб в 1,3...1,5 раза выше, чем для долбленых шестерен. В результате стендовых испытаний установлено, что долговечность таких шестерен в 2...2,2 раза выше долговечности аналогичных деталей, изготовленных по заводской технологии.

УДК 621.77

В.С. Ивашко, Г.М. Яковлев, докт.техн.наук

К ВОПРОСУ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО УПЛОТНЕНИЯ ТВЕРДЫХ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ

Для предотвращения укрупнения твердых составляющих напыленного покрытия из самофлюсующегося сплава в процессе оплавления, исключения последующей механической обработки оплавленных поверхностей применяют высокотемпературное уп-