

С учетом уравнений (14) и (17) уравнение (13) преобразуется к виду:

$$x_1 = 8\text{нв}Gi \operatorname{ctg}(\beta/2) \left[\frac{1 + \operatorname{tg}^2(\beta/2)}{1 - \operatorname{tg}^2(\beta/2)\operatorname{tg}\lambda} - 1 \right]^{3/2}. \quad (18)$$

Из рис. 1, 2 и уравнения гиперболы получаются следующие зависимости между размером длины контактной недеформированной поверхности h и параметром i и между размером длины контактной деформированной поверхности инструмента и параметром i_1 :

$$h = \frac{2i \sin\lambda}{\cos^2\lambda \operatorname{ctg}^2(\beta/2) - \sin^2\lambda}; \quad (19)$$

$$h = \frac{2i_1 \sin\lambda}{\cos^2\lambda \operatorname{ctg}^2(\beta/2) - \sin^2\lambda}. \quad (20)$$

Решая совместно уравнения (12), (18) и (20), получим

$$h_1 = h \left[\sqrt{1 + (8\text{нв}GR/i)^2} + 8\text{нв}G(R/i)\operatorname{tg}\lambda \right]. \quad (21)$$

Здесь величина R определяется по формуле (17).

Таким образом, уравнение (21) позволяет оценить увеличение контакта инструмента с деформируемым материалом в результате упругой деформации инструмента. Чем выше твердость деформируемого материала и меньше модуль упругости материала инструмента, тем больше приращение длины контакта за счет упругой деформации контактной поверхности инструмента. Исследования показывают, что деформация волоки из быстрорежущей стали в 1,6-1,8 раза больше, чем волоки из твердого сплава.

Полученные результаты рекомендуется использовать при проектировании технологических процессов волочения, редуцирования выглаживания, протягивания деформированием и других технологических процессов с учетом изменения размеров контактных поверхностей вследствие упругой деформации инструмента.

Список литературы

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: пер с англ. Изд. 4-е. М.: Наука, 1977. 832 с.
2. Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высш. шк., 1978. 427 с.

Bibliography

1. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics. Izd. 4-e. M.: Nauka, 1977. 832 p.
2. Demidov S.P. Elasticity theory. M.: High school, 1978. 427 p.

УДК 621.735.32: 621.7.043

Мезин И.Ю., Майстренко В.В., Гун Г.С., Латыпов Р.Т.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ НАКОНЕЧНИКОВ ТОРМОЗНЫХ ШЛАНГОВ

С использованием компьютерного моделирования осуществлен анализ процесса формообразования стальных заготовок при изготовлении наконечников тормозных шлангов по различным схемам холодной объемной штамповки. Выявлены закономерности и условия формирования дефекта «складка» в стенке тонкостенного стакана. Установлены наиболее предпочтительные переходы холодной объемной штамповки для осуществления серийного производства рассматриваемых изделий.

Ключевые слова: холодная объемная штамповка, наконечники тормозных шлангов, компьютерное моделирование, заготовка, деформирование, напряжение.

With using computer simulation the analysis of process of shaping steel billet during making tip brake hoses using different schemes of cold forging was done. Regularity and conditions of formation of defect "fold" in the wall of thin-walled barrel were discovered. The most preferable transitions of cold forging for realization of repetition work of the considered manufacture were determined.

Key words: Cold forging, brake hoses' nozzles, computer simulations, workpiece, deforming, strain.

В настоящее время в ОАО «Белебеевский завод «Автономаль» освоено производство наконечников тормозных шлангов легковых автомобилей методом холодной объемной штамповки (ХОШ). По новой технологии корпуса наконечников изготавливаются из материала сталь 10Ю на шестипозиционном холдновысадочном автомате Nedform модели NH 615 фирмы NEDSCHROEF HERENTALS N.V. (Бельгия) с производительностью 120 изделий в минуту. Сталь 10Ю обладает лучшими пластическими свойствами, чем автоматная сталь АС14, обеспечивая при монтаже тормозного шланга более плотное прилегание к опорной поверхности и герметичность соединения [1].

Анализ существующей в условиях завода технологии производства наконечников тормозных шлангов

выявил ряд ее недостатков, приводящих к образованию дефектов в виде складок и трещин на боковой поверхности изделия. Такие дефекты, образующиеся при формообразовании, недопустимы для деталей тормозных систем автомобилей. По результатам выполненного анализа осуществлено совершенствование технологии и в первую очередь операции холодной объемной штамповки заготовок. Усовершенствованная технологическая схема переходов ХОШ представлена на рис. 1 [2].

Суть предложенного усовершенствования сводилась к изменению геометрических параметров промежуточных заготовок на втором и третьем переходах ХОШ. Измененные параметры (см. рис. 1) обозначены окружностями на 2 и 3 переходах, а место образования складки – на 4 и 5 переходах.

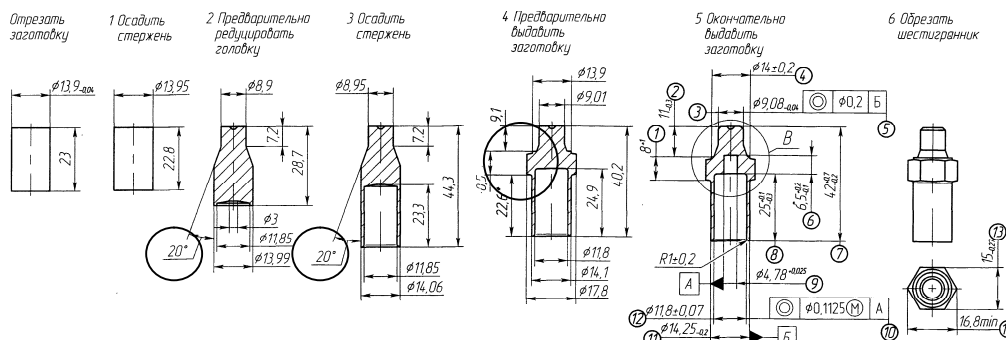


Рис. 1. Усовершенствованная схема переходов ХОШ при формообразовании заготовок наконечников тормозных шлангов

Указанное совершенствование процессов формообразования осуществлено на основе опыта и традиций, сформировавшихся на заводе при освоении подобной продукции, то есть без учета формирующихся напряженного и деформированного состояний. Таким образом, целью настоящей работы явилось компьютерное моделирование процесса формоизменения стальной заготовки при холодной объемной штамповке наконечника тормозного шланга по различным вариантам схемы ХОШ и определение пригодности анализируемых схем для серийного производства указанного изделия.

При компьютерном моделировании получены данные о трансформации координатной сетки деформируемой заготовки, формирующихся полях интенсивности напряжений и деформаций при формообразовании заготовок на каждом переходе. Анализ этой информации подтвердил, что самым проблемным оказался четвертый переход базовой схемы ХОШ, на котором возникают основные дефекты заготовок в виде складок металла в стенке формирующегося на этом этапе тонкостенного стакана. Остальные перехо-

ды базовой схемы деформации более благополучны с точки зрения качества рассматриваемых изделий и формирующихся полей напряжений и деформаций в заготовке.

Анализ причин появления указанных дефектов показал, что в соответствии с условиями деформирования в заготовке наблюдается сильный излом линий координатной сетки при оформлении тонкостенного стакана (см. **рис. 2**). Этот излом по условиям моделирования соответствует аналогичному характеру пластического течения реально деформируемого металла, что и приводит к образованию отмеченного выше дефекта. Об-

ласть заготовки, в которой образуется дефект и его развитие, представлена на **рис. 4**.

Для создания модели холодного деформирования при высадке наконечника тормозного шланга использовался программный комплекс «Deform 2D», а также информация о действующем в ОАО «БелЗАН» производстве. Моделирование осуществлялось на примере изделия 2108-3506066 «Наконечник гибкого шланга к тормозу». Координатная сетка, ее трансформация, а также конфигурация формообразующего инструмента и обрабатываемой заготовки по базовой и предлагаемой схемам ХОШ представлены на **рис. 2 и 3**. Для поддержания постоянного размера элемента количества конечных элементов составляло 8-12 тыс. шт. в начале и конце моделирования соот-

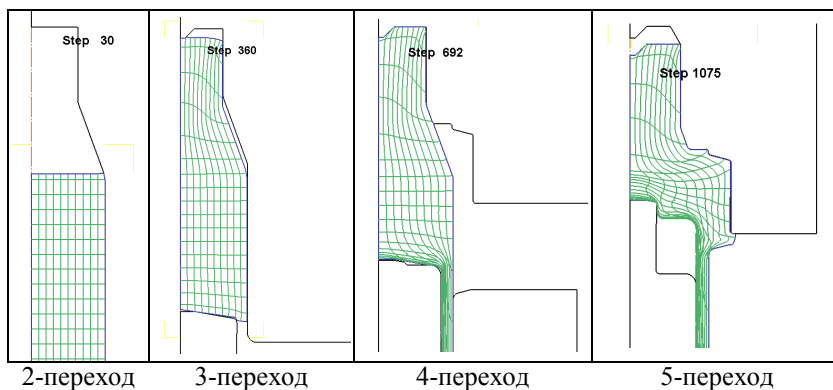


Рис. 3. Конфигурация формообразующего инструмента и обрабатываемой заготовки по предлагаемой технологии на момент начала перехода ХОШ

ветственно. Также следует отметить, что на первом переходе реализуется осадка стержня, которая не представляет существенного интереса для последующего моделирования, поскольку не содержит предпосылок для образования каких-либо дефектов.

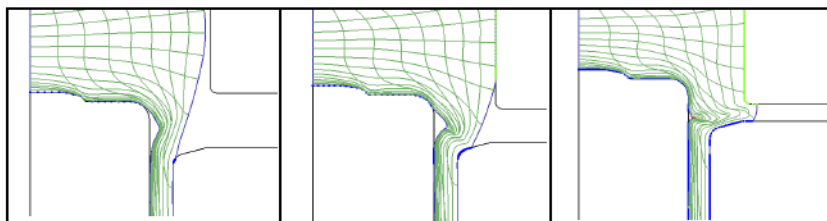


Рис. 4. Область образования дефекта заготовки «складка металла»

На рис. 5 и 6 показаны поля интенсивности напряжений и деформаций, формирующиеся в процессе реализации четвертого перехода ХОШ. Приведенные на этих рисунках данные показали, что область деформируемой заготовки, в которой образуется складка металла, характеризуется высокими значениями интенсивности напряжений и деформаций, при достижении которых с высокой степенью вероятности возможно разрывление металла, приводящее к образованию несплошностей в виде крупных пор и трещин. Данный вывод также подтверждается результатами анализа характера распределения скорости деформации в заготовке.

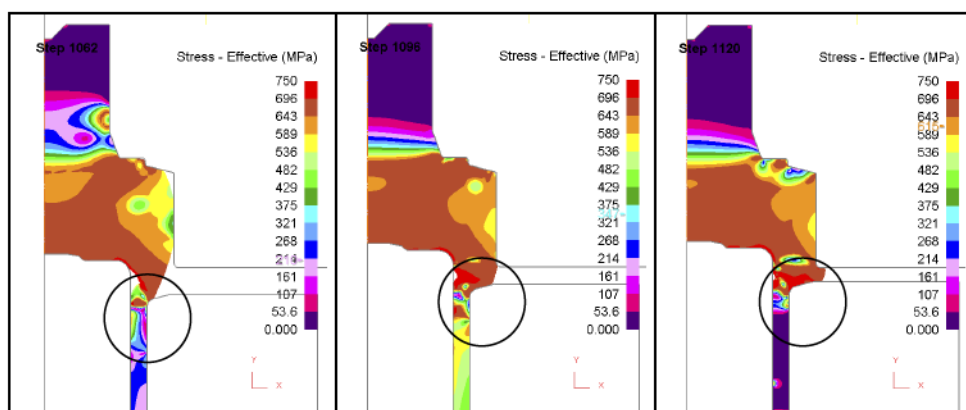


Рис. 5. Поля интенсивности напряжений, формирующиеся при реализации четвертого перехода

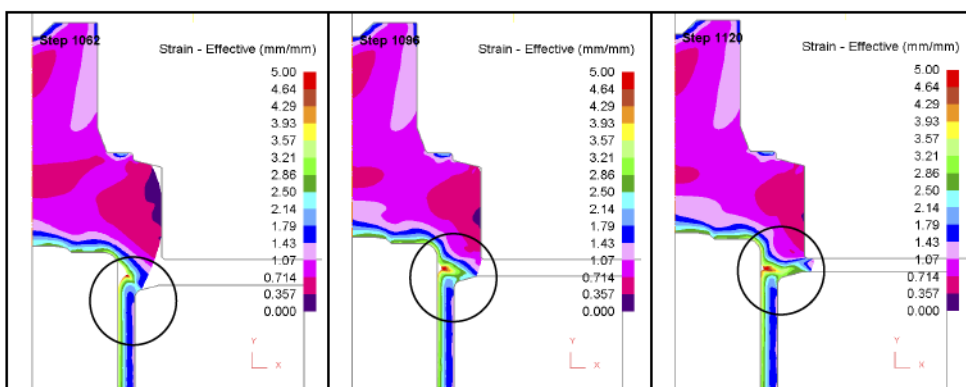


Рис. 6. Поля интенсивности деформаций, формирующиеся при реализации четвертого перехода

На рис. 7 представлены поля распределения скорости деформации в заготовке на этапах четвертого перехода ХОШ. Как видно из представленных результатов компьютерного моделирования, на всех этапах рассматриваемого перехода наблюдается существенная неравномерность скорости деформации в различ-

ных объемах заготовки, причем скорость деформации в тонкой стенке стакана значительно выше, чем в объеме металла в верхней части заготовки. При этом объем переносимого из тонкой стенки металла несколько больше, чем его отводится в верхнюю часть заготовки. Избыток металла выходит за пределы наружной поверхности заготовки, образуя складку.

Таким образом, при анализе деформационных процессов, протекающих на четвертом переходе, установлено, что именно на этом переходе имеются предпосылки для зарождения и развития дефектов в заготовке, приводящее к браку готовой продукции. Технические и технологические условия, в которых реализуется данный переход ХОШ, не приемлемы для их реализации в серийном производстве. Полученные результаты подтверждают необходимость совершенствования деформационных процессов и улучшения условий при осуществлении данного перехода ХОШ.

На рис. 8 представлена информация о протекании деформационных процессов в заготовке при реализации четвертого перехода с использованием усовершенствованной схемы ХОШ рассматриваемого изделия. Анализ представленной информации показал, что на четвертом переходе в предлагаемом исполнении не наблюдается каких-либо критических отклонений от нормального протекания процессов. Установлено, что трансформация линий координатной сетки, отражающая закономерности течения металла, не приводит к излому ее линий и образованию складок по всему объему заготовки. Линии координатной сетки, наблюдаемые на всех этапах перехода, носят плавный характер, что может свидетельствовать об отсутствии условий для зарождения дефектов в металле. Аналогичные выводы сделаны при изучении полей распределения интенсивности напряжений и деформаций. Результаты компьютерного моделирования четвертого перехода по усовершенствованной схеме ХОШ наконечников тормозных шлангов показали, что новый вариант технологии способен обеспечить бездефектное формообразование заготовки и более целесообразен для реализации в условиях серийного производства.

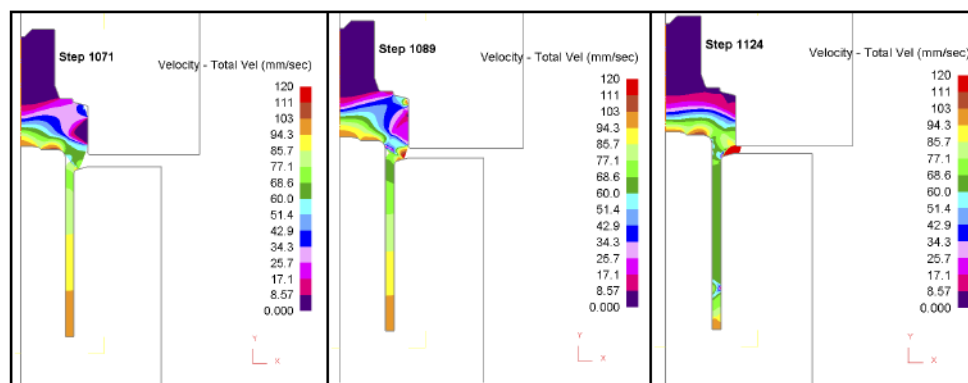


Рис. 7. Поля распределения скорости деформации в заготовке на этапах четвертого перехода ХОШ

Таким образом, анализ результатов компьютерного моделирования установил, что усовершенствованная схема высадки наконечников тормозных шлангов является более предпочтительной при серийном производстве этих изделий, поскольку способна обеспечить бездефектное формообразование изделий с заданными формой и размерами.

Список литературы

1. Овчинников С.В. Прогрессивная технология изготовления наконечников тормозных шлангов методом холодной объемной штамповки // КШП ОМД. 2010. № 3. С. 9-13.
2. Пат. 2428273 РФ, МПК B21K 1/16, F16L 33/00. Способ изготовления корпуса наконечника тормозного шланга / Овчинников С.В., Майстренко В.В., Галиахметов Т.Ш. Опубл. 10.09.2011. Бюл. № 25.

Bibliography

1. Ovchinnikov S.V. The progressive technology of tip brake hoses by cold forging // Forging and stamping production. Materials Handling Pressure. 2010, №3. P. 9-13.
2. Pat. 2428273 of the Russian Federation IPC B21K 1/16, F16L 33/00. A method of making the body a tip brake hose / Ovchinnikov S.V., Maistrenko V.V., Galiakhmetov T. Sh. Print. 10.09.2011. Part. № 25.



Рис. 8. Трансформация координатной сетки заготовки на этапах четвертого перехода усовершенствованной схемы ХОШ

УДК 621.771.06:621.892

Платов С.И., Макаров А.Н., Баранов Г.Л., Дёма Р.Р., Ярославцев А.В.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ РЕЖИМА ЭЛАСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ В МЕЖВАЛКОВОМ КОНТАКТЕ. СООБЩЕНИЕ 1

В данной работе доказано, что при горячей прокатке металла с использованием технологических смазок в межвалковом узле клетки «кварто» реализуется эластогидродинамический режим трения. Построены зависимости, показывающие наличие данного режима в процессе прокатки для всего сортамента выпускаемой продукции в зависимости от групп энергоэффективности. Проведенные исследования связаны в первую очередь с отсутствием в источниках информации, раскрывающей суть этой проблемы.

Ключевые слова: горячая прокатка, смазочный материал, система подачи технологической смазки.

In this paper we prove that for hot-rolled metal, using lubricants, mezhvalkovom node in the cage, «quarto», sold elastohydrodynamic regime of friction. The dependences of showing the existence of the regime during the rolling process for the entire range of products, depending on the energy efficiency groups. The studies relate primarily to the lack of sources of information, revealing the essence of the problem.

Key words: hot rolling, lubricant, lubricant supply system technology.

Расширение сортамента выпускаемой продукции на станах горячей прокатки, в том числе труднодеформируемых марок сталей ($\sigma_0 > 80$ МПа), сопровождается увеличением энергосиловых параметров процесса, что отражается на высоком потреблении электроэнергии.

Одним из прогрессивных способов снижения энергосиловых параметров в технологии горячей прокатки является применение систем подачи технологической смазки (СТС).

В настоящее время на стане «2000» ОАО «ММК», в первых трех клетях чистовой группы, используется

СТС, подающая жидкий, смазочный материал на поверхность опорного вала со стороны выхода металла из клетки (рис. 1). Согласно ТИ 374-2010 ОАО «ММК» смазочный материал подается в постоянном объеме: верхний коллектор 0,08 л/мин, нижний коллектор 0,10 л/мин.

Экспериментально установлено, что применение жидких смазочных материалов позволяет снизить нагрузки на валу главного привода на 3–5% [1-3, 9-12].

В работе [13] приведены численные результаты снижения на 7–10% момента трения между рабочим и опорным валками $M_{тр(n)}^{p-0}$ при подаче СМ. Снижение