

наружным диаметром 70 мм и толщиной стенки 3 мм. При этом получали фланец диаметром 102 мм с исходной толщиной стенки и радиусом $r_n = 3$ мм. Таким образом моделировали процесс формообразования фланцев в полых заготовках из стали 35, подвергаемых локальному нагреву в зоне деформации. Фасонирование заготовки осуществляли в безоблойном штампе.

Поскольку длина l_2 значительно превышает толщину стенки трубной заготовки, в начальный момент ее осадки наблюдается потеря устойчивости за счет выпучивания наружу стенки в свободной полости матрицы. Такое явление описано в работе [4]. Это обусловило необходимость наличия цилиндрической части в матрице над зоной фасонирования.

Эксперименты показали, что результаты расчетов, проведенных по уравнениям (7) и (8), достаточно хорошо согласуются с опытными данными. Это подтверждает корректность принятых допущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. Л.: Машиностроение, 1971. 782 с.
2. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка / М.Е. Зубцов. Л.: Машиностроение, 1980. 432 с.
3. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов. М.: Машиностроение, 1968. 284 с.
4. Теория обработки металлов давлением / под ред. И.Я. Тарновского. М.: Металлургиздат, 1963. 672 с.

УДК 621.983.4

И.М. ШИМАНОВИЧ, канд. техн. наук,
О.А. ШИМАНОВИЧ (БНТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ ШАРИКОВЫМИ МАТРИЦАМИ

Ротационная вытяжка шариковыми матрицами представляет собой процесс формообразования полрой заготовки, находящейся на вращающейся оправке, с помощью специального устройства, в котором основным формоизменяющим инструментом являются шарики. Процесс осуществляется на универсальном токарно-винторезном станке, продольный суппорт которого используется для установки устройства, а шпиндель станка – для закрепления на нем оправки.

Ротационную вытяжку цилиндрических оболочек можно осуществлять прямым и обратным способами, различающимися направлением течения материала по отношению к направлению основной подачи деформирующего инструмента.

Один из важнейших параметров рассматриваемого процесса – степень деформации за проход и предельная степень деформации. Под последней понимают максимально допустимое значение суммарной степени обжатия стенки заготовки, получаемое за несколько проходов без промежуточной термообработки.

Существуют три основные схемы задания частных значений степени деформации по проходам ротационной вытяжки:

1) $\epsilon_1 > \epsilon_2 > \epsilon_3 > \dots > \epsilon_n$;

2) $\epsilon_1 < \epsilon_2 < \epsilon_3 < \dots < \epsilon_n$;

3) $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = \dots = \epsilon_n$.

Следует отметить, что предельные степени деформации в процессах ротационной вытяжки определяют в основном экспериментально, так же как и выбор того или иного варианта технологии. Однако известно, что работа в режиме по схеме 1 приводит к значительному росту зазора между внутренним диаметром изделия и оправкой, волнистости поверхности, потере устойчивости стенки. Назначение степеней деформации по схеме 2 позволяет осуществлять эффективное формоизменение, однако точность получаемых изделий низка.

В первом приближении оптимальным можно считать вариант, в котором степень деформации по переходам распределена в равных долях [1]. Одинаковые значения ϵ_i на каждом из переходов позволяют реализовать максимальные значения суммарных степеней деформации без разрушения материала, причем с уменьшением диаметра шаров суммарная степень деформации возрастает.

Для последнего случая определим оптимальные значения степеней деформации за проход при ротационной вытяжке тонкостенных оболочек.

При анализе силовых параметров процесса [2], а именно: аналитических зависимостей для определения напряжений, возникающих в стенках заготовки, находящихся вне предела очага деформации, при их минимальных значениях установлено наличие оптимальных углов наклона образующих очага деформации $\alpha_{\text{опт}}$. Полученные результаты (рис. 1) свидетельствуют, что с увеличением радиуса деформирующих шаров $R_{\text{ш}}$ значение $\alpha_{\text{опт}}$ уменьшается, а с увеличением коэффициента трения между заготовкой и оправкой растет при прочих равных условиях. Характер зависимости $\alpha_{\text{опт}}$ от степени редукции n (отношения толщин стенки оболочки до и после деформации) указывает на то, что при определенных

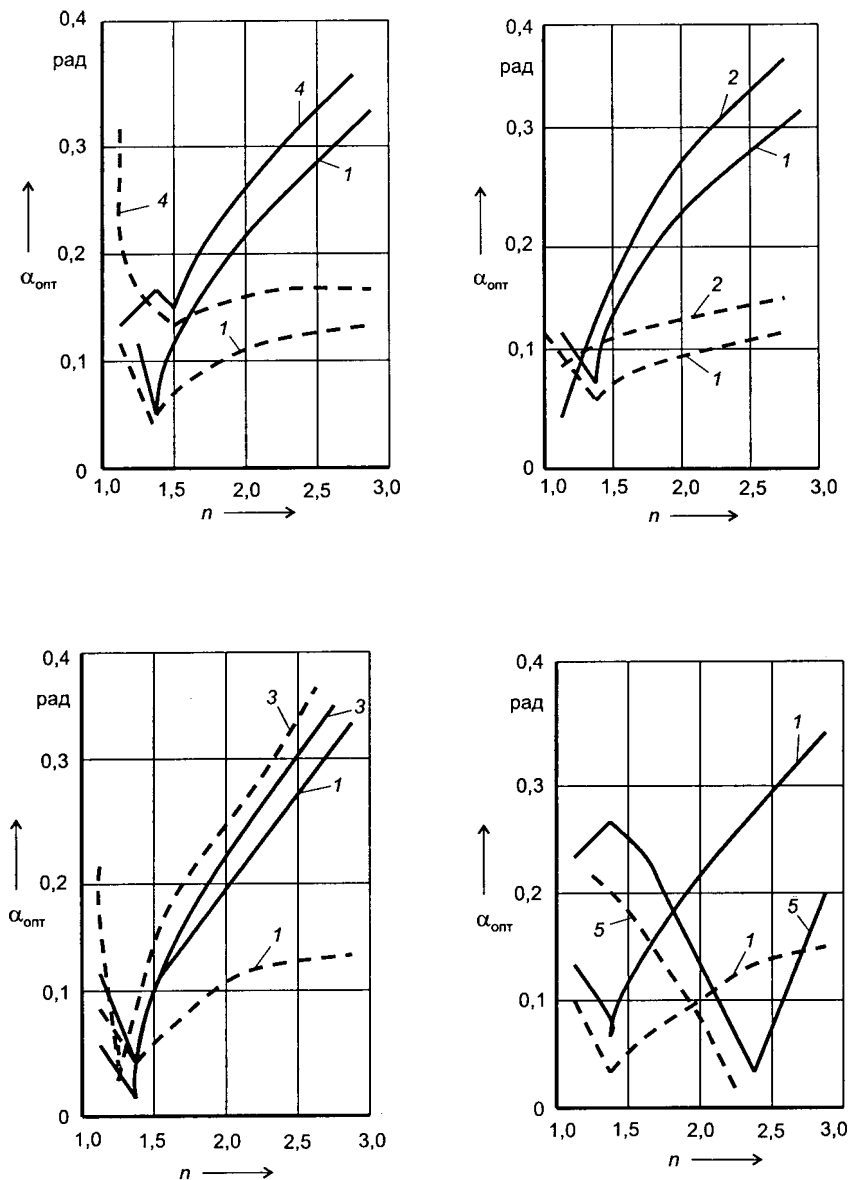


Рис. 1. Зависимость величины оптимального угла $\alpha_{\text{опт}}$ от степени редукции n при прямой (сплошные линии) и обратной (штриховые) ротационных вытяжках: 1 - $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,05$, $R_{\text{ш}} = 10$ мм, $S_0 = 1$ мм; 2 - $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,05$, $R_{\text{ш}} = 5$ мм, $S_0 = 1$ мм; 3 - $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,05$, $R_{\text{ш}} = 10$ мм, $S_0 = 0,8$ мм; 4 - $\mu_0 = 0,13$, $\mu = 0,05$, $R_{\text{ш}} = 10$ мм, $S_0 = 1$ мм; 5 - $\mu_0 = 0,1$, $\mu = 0,13$, $R_{\text{ш}} = 10$ мм, $S_0 = 1$ мм

значениях n (обычно $n = 1,2...1,5$) наблюдается значительное уменьшение оптимального угла наклона образующих очага деформации. Это говорит о необходимости вести обработку при данных значениях n шарами увеличенного диаметра, что способствует снижению напряжений в стенках заготовки. Исключение составляет случай, когда в процессе обработки коэффициент трения μ между заготовкой и деформируемыми шарами велик (порядка 0,15). В этом случае кривая имеет ярко выраженные максимум (при $n = 1,2...1,5$) и минимум (при $n = 2,2...2,5$).

Проанализированные зависимости ограничивают величину оптимального угла наклона образующей $\alpha_{\text{опт}}$ при прямой ротационной вытяжке пределами 0,087...0,2 рад, а при обратной – 0,05...0,17 рад.

Экспериментальные исследования процесса ротационной вытяжки в шариковых матрицах, проведенные на образцах диаметром от 15,6 до 20 мм с толщиной стенок от 0,35 до 1,5 мм, полученных на станах ХПТР и токарной обработкой, из сплава 36НХТЮ, стали Ст3, меди М1, алюминиевого сплава Д16 и латуни Л63, показали следующее: интенсификация процесса за счет увеличения единичных обжатий и подачи инструмента сопровождается ростом необходимых усилий деформации, что отрицательно сказывается на точностных параметрах получаемых оболочек.

В настоящее время многие отрасли промышленности (например, приборостроение, авиастроение и др.) кроме стабильности геометрических размеров и формы тонкостенных оболочек предъявляют к их материалу повышенные требования по обеспечению в процессе деформирования необходимого комплекса физико-механических свойств, удовлетворяющих технологии производства и эксплуатационным характеристикам получаемого изделия. Так, во избежание появления в материале необратимой повреждаемости пластическое деформирование должно ограничиваться степенями деформации, обуславливающими образование микроразрывов, предшествующих общему разрушению материала.

Ранее установлено [3, 4], что при деформациях $\epsilon > 35\%$ в поверхностных слоях оболочек появляется значительное количество микротрещин и других микродефектов. В случае достижения степеней деформации за проход $\epsilon > 50...70\%$ происходит быстрый рост микротрещин с развитием их в макродефекты, что может вызвать вначале разрушение поверхностных слоев металла, а затем и полное разрушение заготовки. С целью восстановления свойств материала за счет залечивания субмикроскопических трещин производят отжиг. Однако интенсивность такого процесса при предшествующих деформациях $\epsilon > 40...50\%$ снижается, поскольку в этом случае в материале происходит переход микротрещин в необратимые макродефекты. Таким образом, оптимальными с точки зрения наличия микродефектов являются деформации со степенями, не превышающими 30...40% за проход.

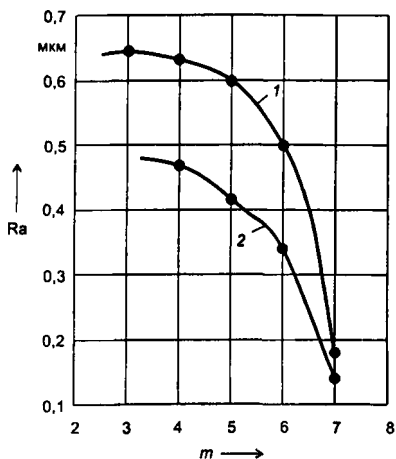


Рис. 2. Зависимость шероховатости Ra поверхности оболочки из стали Ст3 от количества m деформирующих шаров в матрице:

1 - $\epsilon = 43,625\%$; 2 - $\epsilon = 34,25\%$; $S_0 = 0,8$ мм; $f_1 = 0,01143$ мм/шар; $\nu = 0,098$ м/с; $R_{ш} = 4$ мм; $R_0 = 7$ мм

деформирующих шаров не более чем на 30...40% максимально возможного их количества в матрице. Уменьшение количества деформирующих шаров в планетарной матрице также ведет к резкому росту шероховатости поверхности (рис. 2). При уменьшении их количества ниже определенного значения (до 30% максимально возможного количества) резко увеличивается волнистость поверхности, на которой становятся ясно различимыми следы винтового движения шаров.

Установлено также существование для каждого материала определенных степеней деформации за проход (в пределах 25...50%), при которых достигается минимальная шероховатость получаемой поверхности [5]. Последнее имеет большое значение, так как в промышленности используются трубчатые изделия с толщиной стенки 0,04...0,06 мм и менее. При этом возрастает влияние поверхностного слоя металла, обладающего пониженным сопротивлением пластической деформации и подверженного большему влиянию микронеровностей поверхности. Следует также отметить, что оболочки, полученные с одной и той же общей суммарной, но различными частными степенями деформации (за разное количество проходов), имеют неодинаковую шероховатость поверхности (рис. 3).

Уменьшение числа деформирующих шаров в матрице по сравнению с максимально возможным их количеством обуславливает течение металла в тангенциальном направлении, что ведет к появлению в стенках заготовок знакопеременных напряжений и образованию продольных микротрещин. Другими словами, в этом случае в результате прерывистого действия шаров возникает знакопеременный изгиб стенки оболочки, который ведет к искажению формы заготовки и появлению микротрещин. В случае деформирования оболочек с толщиной стенки порядка 0,15...0,2 мм и менее течение металла в тангенциальном направлении приводит к быстрому переходу микродефектов в макродефекты и в дальнейшем к разрушению оболочек. Вышесказанное ограничивает возможность снижения количества

Увеличение дробности деформации способствует повышению качества поверхности, особенно для пластичных материалов.

Таким образом, установлено, что проведение процесса ротационной вытяжки шариковыми матрицами со степенью деформации за проход 30...40% обеспечивает наименьшую необратимую повреждаемость поверхностных слоев материала оболочек и минимальную шероховатость поверхности.

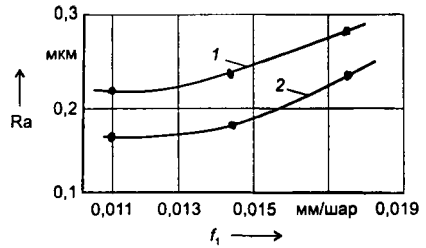


Рис. 3. Зависимость шероховатости Ra поверхности заготовки из латуни Л63 от подачи шара на оборот оправки f_1 и степени деформации:

1 - один переход, $\epsilon = 48,6\%$; 2 - два перехода, $\epsilon_1 = 8,875\%$, $\epsilon_2 = 41,68\%$, $\epsilon_{\Sigma} = 46,7\%$; $S_0 = 1,5$ мм; $v = 0,098$ м/с; $R_{ш} = 4$ мм; $R_0 = 7$ мм; $m = 7$ шаров

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдин, Л.Г. Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек / Л.Г. Юдин, С.П. Яковлев. М.: Машиностроение. 1984. 128 с.
2. Добровольский, И.Г. Определение силовых параметров процесса ротационной вытяжки тонкостенных оболочек / И.Г. Добровольский, А.В. Степаненко, И.М. Шиманович // Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук. 1983. № 4. С. 3 - 8.
3. Оценка технологической пластичности сильфонных трубок-заготовок / И.Г. Добровольский [и др.] // Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук. 1988. № 2. С. 3 - 6.
4. Application of Barkhausen effect method for evaluation the technological properties for the material of deformed cylindrical shells / V.N. Busko [et al.] // Сб. докл. междунар. конф. «Computer Methods and Inverse Problems in Nondestructive Testing and Diagnostics CM NDT-95». Мн., 1995. С. 67 - 69.
5. Добровольский, И.Г. Шероховатость поверхности при ротационной вытяжке / И.Г. Добровольский, А.В. Степаненко, И.М. Шиманович // Металлургия. 1985. Вып. 19. С. 6 - 8.

УДК 621.771.25.04.001.5

А.П. ЛОХМАТОВ, канд. техн. наук,
С.М. ЖУЧКОВ, д-р техн. наук,
Л.В. КУЛАКОВ, канд. техн. наук (ИЧМ НАН Украины)

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

В качестве основного способа получения массовой металлопродукции (листов, сорта, катанки и др.) в настоящее время используется непрерывная прокатка. При ее реализации происходит наиболее полное использование ресурса пластичности материала, снижение расхода металла. Высокие скорости прокатки, обеспечива-