

УДК 621.7.044

Аргат Р. Г.
Драгобецкий В. В.
Пузырь Р. Г.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЕМОВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СИЛ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ И ПРОФИЛИРОВАНИЕМ

Оптимизация сил контактного взаимодействия и их мобилизация для выполнения технологических функций способствует наиболее рациональному перераспределению материала из определенного начального состояния в конечное, и сулит огромную технико-экономическую эффективность [1–4].

Целью работы является попытка классифицировать и сгруппировать способы, направленные на оптимизацию сил трения в процессах листовой штамповки и профилирования для интенсификации процессов изготовления деталей автомобилей и других машин методами листовой штамповки.

Довольно большое количество приемов, совершенствующих технологические процессы получения деталей автомобилей методами листовой штамповки, разделим условно на четыре группы.

Основу первой группы составляют способы, снижающие или увеличивающие силы фрикционного контакта за счет применения физико-химической обработки поверхностей, а также использования фрикционных и антифрикционных сред. Среди них выделим следующие:

1. Применение эффективных смазок. В технологических процессах обработки металлов давлением изучена смазочная способность сотен различных веществ. Некоторые из них могут снижать коэффициент трения в 5–6 раз. В технологических процессах листовой штамповки, исключение составляет процесс реверсивной штамповки, где эффективность смазок практически не изучалась.

2. Применение тормозящих сред (антисмазок). В качестве антисмазок могут быть применены материалы в виде порошков и паст, твердость которых выше твердости поверхности инструмента: порошок корунда, окиси алюминия, доменный шлак и т. д. Некоторые жидкие вещества могут также повышать коэффициент трения, к числу таких веществ относится гель кремнезема.

3. Плакирование и применение специальных покрытий. Экспериментальные данные [1, 2] свидетельствуют о том, что при обработке металлов давлением плакированные металлы ведут себя иначе, чем при тех же условиях однородные металлы. В работе [3] приведено исследование штампуемости плакированного листового САПа, который, как известно, обладает низкой пластичностью в обычных условиях.

Испытание включало вытяжку, отбортовку и гибку листов толщиной 1, 2 и 3 мм в состоянии: 1 – отжиг брикетов САПа в течение 8 час. при температуре 600°C, 2 – при температуре 650°C.

Предельно допустимые коэффициенты вытяжки и минимальные радиусыгиба сведены в табл. 1.

Следовательно, плакирующий слой, играющий роль смазки, повышает технологичность основного материала, открывая возможность для деформирования его в холодном состоянии.

Применение специальных покрытий на штампуемых материалах способствует оптимизации технологического процесса, улучшению качества полученных деталей, облегчает скольжение, повышает степень вытяжки. В обработке металлов давлением применяют фосфатные и оскалатные покрытия, пластизол, оргазол, полихлорвинил и т. д. [4].

Таблица 1

Штамповка листового САПа

Состояние материала	Толщина листа, мм	К выт.пр.	К отб.пр.	Радиусгиба
Лист лакированный, состояние поставки 1, при 20°C	1	1,61	—	9
	2	1,3	—	4,5
	3	—	—	—
Лист лакированный, состояние поставки 2, при 20°C	1	1,8	1,14	4
	2	1,14	1,14	3
	3	—	—	3
Лист лакированный, при температуре штам- повки 420–470°C	1	—	—	1,2
	2	1,8	1,6	—
	3	—	—	—

Большой интерес представляет технологический процесс, по которому одновременно сваривают и штампуют детали [5], когда силы взаимодействия между лакируемым и лакирующим металлами настолько велики, что происходит сваривание металлов, и более пластичный материал существенно изменяет процесс деформирования менее пластичного.

4. Обеспечение трения в режиме избирательного переноса. Избирательный перенос можно характеризовать как перевод пар трения со смазывания минеральными или синтетическими маслами на смазывание пластичным металлом. Металлическая пленка выдерживает значительно большие нагрузки и обладает высокой термической стойкостью [6]. Обеспечение такого режима возможно, и эффективно в тех технологических процессах, где наблюдается истирание материала заготовки, например, при реверсивной и бесприжимной штамповке. Меднение поверхности матрицы и смазка ее глицерином, либо применение металлолакирующей смазки ЦИАТИМ–203, практически исключают истирание кромки заготовки.

5. Размещение пластичного наполнителя между прижимными поверхностями. При деформации пластичный наполнитель, предел текучести которого значительно меньше предела текучести материала заготовки, вытекает из-под фланца и позволяет заготовке утолщаться.

6. Очистка поверхностей инструмента и заготовки от газов, адсорбированных и окисных пленок. Поверхности заготовки и инструмента практически всегда загрязнены посторонними веществами, которые образуют на них тонкие слои окисных и жировых пленок, влаги и т. п.

Очистка поверхности инструмента и заготовки существенно изменяет коэффициент трения между ними. Боуден и Ньюз [7] установили, что при тщательной очистке поверхностей от газов, коэффициент кинетического трения увеличивается в 20 раз по сравнению с его значением в обычных условиях.

Гельм и Кирштейн [7] показали, что при увеличении влажности воздуха коэффициент трения уменьшается в 2,5–3,25 раза.

Особенно большое влияние на коэффициент трения оказывают жировые загрязнения. По данным А. К. Зайцева [7] коэффициент трения скольжения в зависимости от загрязнений для стали по стали изменяется от 0,76 для чистой поверхности, до 0,29 для загрязненной, а для меди – соответственно от 1,21 до 0,76. При загрязнении заготовок поверхностно активными веществами, например, олеиновой или стеариновой кислотой, серой и т. д., коэффициент трения может снизиться до 0,05 [7]. Поэтому очистка поверхностей имеет исключительно важное значение при изыскании путей увеличения сил контактного взаимодействия.

Чистую поверхность можно получить путем длительного и сильного прогрева инструмента в высоком вакууме, либо очисткой в газовом разряде. Эти методы позволяют увеличить коэффициент трения для стальных поверхностей примерно в два раза. Однако, эти методы трудоемки, длительны по времени, требуют дополнительных капитальных затрат.

Наиболее удобным является метод очистки жирорастворителями. Обычно применяют керосин, бензол, бензин, дихлорэтан, трихлорэтилен и четыреххлористый углерод.

А. С. Ахматов [7] предложил метод очистки поверхности высокодисперсным активированным углем. По этому методу исследуемая поверхность протирается несколько раз ветошью с измельченным активированным углем. При этом происходит «пересадка» адсорбированных слоев с металлической поверхности на поверхность частичек угольной пыли с последующим удалением ее струей чистого воздуха или протиранием чистой хлопчатобумажной тканью.

Высокую степень очистки можно получить, увеличивая степень вакуумирования [8].

Применение смазок и антисмазок в процессах листовой штамповки наиболее технологично, эффективно и экономно.

Вторую группу объединяют способы, направленные на устранение вредного и создание полезного активного действия сил фрикционного взаимодействия. Рассмотрим следующие способы:

1. Процесс фрикционной вытяжки. В этом случае к поверхности фланца прикладывают активные фрикционные силы, направленные к центру. На рис. 1 приведена схема фрикционной вытяжки с помощью эластичного пуансона.

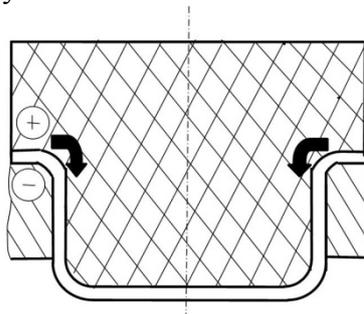


Рис. 1. Схема фрикционной вытяжки

При сближении матрицы и прижима эластичный пуансон деформируется, и его материал выдавливается к центру. Течение вдоль поверхности с высоким коэффициентом трения вызывает появление активных фрикционных сил, увлекающих заготовку в полость матрицы.

2. Преимущественное применение схем на обжим рифтов по сравнению со схемами вытяжки в рифт. Когда высота и ширина рифта находятся в пределах пятнадцати – тридцати толщин штампуемого материала, более выгодной оказывается схема на обжим, поскольку в этом случае силы внешнего взаимодействия заготовки о поверхность матрицы играют положительную роль и позволяют, в отличие от схемы вытяжки в рифт, получать готовую форму при значительно меньших степенях деформации.

3. Предварительный набор материала. Штамповка – вытяжка при неподвижном защемленном фланце, формовка глубоких рифтов и т. д. сопровождается значительным утонением заготовки. Для предотвращения указанного недостатка производится предварительное оформление заготовки с применением жесткого [9] или эластичного вкладыша.

4. Применение присоединенных масс. Влияние присоединенных масс на процесс формообразования многогранно. Однако благоприятствующим деформированию заготовки условиям, описанным в работе [10], следует добавить существенное влияние напряжений трения, действующих на поверхностях контакта между заготовкой и присоединенной массой. Более пластичный материал присоединенной массы при контактировании с заготовкой в процессе штамповки захватывает последнюю и увлекает ее в полость матрицы, разгружая наиболее утоняемые участки заготовки. Кроме того, наличие фрикционных напряжений между присоединенной массой и заготовкой предотвращает образование продольных и поперечных гофров. Поэтому применение присоединенных масс следует также отнести к одному из способов полезного использования сил контактного взаимодействия.

5. Пакетная штамповка. Для осуществления вытяжки труднодеформируемых и тонкостенных листовых материалов, этот материал помещают между обкладками из мягкого материала, предварительно смазав поверхности [11]. Силы взаимодействия между заготовкой и обкладками препятствуют гофрообразованию и способствуют увеличению степени вытяжки.

6. Использование фрикционных сил для разогрева заготовок. Решение задач мобилизации трения для выполнения технологических функций, т. е. широкое внедрение способов активного использования сил трения, – одно из перспективных направлений в области обработки металлов давлением.

К третьей группе относим способы, оптимизирующие силы контактного взаимодействия путем образования определенного профиля инструмента, обеспечивающие определенный характер механического сцепления заготовки с поверхностью инструмента. Например:

- 1) формирующий конический прижим [12];
- 2) дополнительный сферический прижим [12];
- 3) расширение рифтов и «смягчение» перетяжных ребер;
- 4) применение тормозных ребер и перетяжных порогов [12];
- 5) нарезка, накатка выступов [12];
- 6) гарантированный зазор между заготовкой и прижимом;
- 7) оптимальный радиус закругления матрицы [13].

Первые три приема позволяют устранить складкообразование при увеличении степени вытяжки и меньшем утонении у дна изделия. Четвертый и пятый – устраняют «вырыв» фланца заготовки, образование гофров и «карнизов». В шестом случае значительно снижаются силы контактного трения между фланцем заготовки и прижимом. Но его применение целесообразно лишь тогда, когда прижимное устройство предотвращает выпучивание фланца заготовки. В последнем случае снижению сил трения способствует расчет оптимальной геометрии контакта заготовки с инструментом.

Радиус закругления матрицы зависит от толщины вытягиваемого материала, степени деформации, скорости вытяжки, порядкового номера вытяжки, высоты изделия и других параметров. Аналитически радиус закругления матрицы в зависимости от основных факторов вытяжки можно определить для первой операции из зависимости для определения коэффициента вытяжки m_1 , решая его относительно r_{1M} [14]:

$$m_1 = 0,85e^{0,05 - 0,9 \frac{\sigma_s}{S_{cp}} + \frac{0,95s}{2r_{1M} + s}} \quad (1)$$

где σ_s – временное сопротивление разрыву; S_{cp} – среднее сопротивление деформации; s – толщина металла.

Однако установление радиуса закругления матрицы по указанной зависимости весьма сложно, поэтому его определяют на основании опытных данных по таблицам, учитывающим наиболее полно все перечисленные факторы.

В процессе обратной штамповки-вытяжки в матрицу с входом по полутору оптимальный радиус закругления вытяжного ребра матрицы находится по формуле [13]:

$$r_{M \text{ опт}} = \frac{d_{п \text{ ср}}(K_n - 1)}{4(1 - \cos \gamma_{\text{опт}})} - \frac{S}{2} \quad (2)$$

где $d_{п \text{ ср}}$ – средний диаметр штампуемого изделия; K_n – коэффициент вытяжки на n -том переходе; S – толщина материала заготовки; $\gamma_{\text{опт}}$ – оптимальный угол наклона точек соприкосновения тороидальных поверхностей.

При этом оптимальный радиус закругления соответствует минимальным значениям потребных усилий штамповки.

Влияние радиуса закругления вытяжного ребра матрицы на силу трения используется при вытяжке цилиндрических деталей из квадратных заготовок. Способ предложен Я. Галиновским [12] с целью технологического использования влияния анизотропии металла в процессе вытяжки. Способ заключается в применении матрицы с переменной величиной радиуса вытяжных кромок (рис. 2). Меньший радиус дается в тех местах анизотропной заготовки, в которых требуется затормозить течение металла и увеличить высоту вытяжки и наоборот.

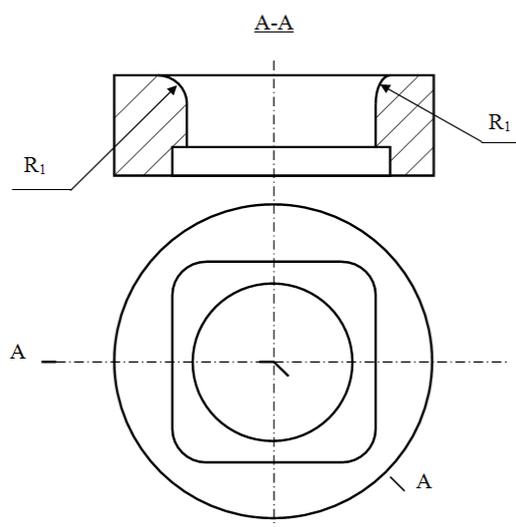


Рис. 2. Матрица с переменным радиусом закругления

Четвертая группа – это способы, активизирующие подачу заторможенных участков заготовки. К ним относятся:

1. Подпор торца заготовки. Воздействие на кромку заготовки является деформирующим усилием и позволяет регулировать процесс вытяжки в широких пределах. Давление подпора качественно изменяет поле напряжений в очаге деформаций вплоть до образования сжимающих напряжений во внутренней зоне фланца, дает возможность превратить вытяжку в процесс стационарный.

2. Установка подкладок на донную часть изделия для уменьшения глубины проштамповки и улучшения подачи материала на последующих переходах.

Когда заготовка касается дна матрицы, в пятне контакта практически отсутствуют деформации растяжения.

Сдвигка момента касания заготовки о дно матрицы позволяет увеличить, как степень деформации центральной части заготовки, так и подтяжку материала из ее периферийных зон [15].

3. Создание многосвязных областей в процессе деформирования посредством вырезки внутренних проемов. При образовании пятна контакта эту зону удаляют [15].

ВЫВОДЫ

Дальнейшая разработка и применение рассмотренных способов оптимизации сил контактного взаимодействия позволит совершенствовать и интенсифицировать процессы изготовления деталей автомобилей и других машин методами листовой штамповки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аркулис Г. Э. Совместная пластическая деформация разных металлов / Г. Э. Аркулис. – М. : Металлургия, 1984. – 271 с.
2. Кузнецов В. И. Применение пластифицирующего медного покрытия при глубокой вытяжке изделий / В. И. Кузнецов, Ю. И. Катаев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 9. – С. 45.
3. Цибулин И. П. Штампуемость плакированного листового САПа / И. П. Цибулин, Г. С. Сахаров // Обработка давлением легких сплавов. – М. : Машиностроение, 1965. – Вып. 62. – С. 14–21.
4. Slebos H. Toepassing van Spingstof in de Material bewerking. / H. Slebos. – «Rev. Soudure», 1975. – Vol 31. – № 3. – P. 110–115.
5. Гейман Л. М. Взрыв / Л. М. Гейман. – М. : Наука, 1978. – 182 с.
6. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Д. Н. Гаркунов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 207 с.
7. Вейлер С. Я. Действие смазок при обработке металлов давлением / С. Я. Вейлер, В. И. Лихтман. – Изд. АН СССР, 1960. – 231 с.
8. Трение, изнашивание и смазка: Справочник 4.1 / под ред. Крагельского И. В., Алисина В. В. – М. : Машиностроение, 1978. – 400 с.
9. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью / Е. И. Исаченков. – М. : Машиностроение, 1967. – 367 с.

10. Оптимальная присоединенная масса в процессах тонколистовой штамповки / В. К. Борисевич [и др.] // Импульсная обработка металлов давлением. – Харьков, 1975. – Вып. 5. – С. 8–10.
11. Анучин М. А. Штамповка взрывом / М. А. Анучин, О. Л. Антоненков, Ю. П. Жбанов. – М. : Машиностроение, 1972. – 147 с.
12. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
13. Губкин С. И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М. : Metallurgizdat, 1947. – 532 с.
14. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – Л. : Машиностроение, 1967. – 504 с.
15. Сабелькин В. П. О способах интенсификации технологических процессов взрывной штамповки деталей коробчатой формы / В. П. Сабелькин // Всесоюз. научн.-техн. конф. 28–31, янв. 1980, использование импульсных источников энергии в промышленности. – Харьков, 1979. – С. 40.

REFERENCES

1. Arkulis G. Je. *Sovmestnaja plasticheskaaja deformacija raznyh metallov* / G. Je. Arkulis. – M. : Metallurgija, 1984. – 271 s.
2. Kuznecov V. I. *Primenenie plastificirujushhego mednogo pokrytija pri glubokoj vytjazhke izdelij* / V. I. Kuznecov, Ju. I. Kataev // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*. – 1977. – № 9. – S. 45.
3. Cipulin I. P. *Shtampuemost' plakirovannogo listovogo SAPa* / I. P. Cipulin, G. S. Saharov // *Obrabotka davleniem legkih splavov*. – M. : Mashinostroenie, 1965. – Вып. 62. – S. 14–21.
4. Slebos H. *Toepassing van Spingstof in de Material bewerking*. / H. Slebos. – «Rev. Soudure», 1975. – Vol 31. – № 3. – P. 110–115.
5. Gejman L. M. *Vzryv* / L. M. Gejman. – M. : Nauka, 1978. – 182 s.
6. *Izbitatel'nyj perenos v tjazhelonagruzhennyh uzlah trenija* / D. N. Garkunov [i dr.]. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 207 s.
7. Vejler S. Ja. *Dejstvie smazok pri obrabotke metallov davleniem* / S. Ja. Vejler, V. I. Lihtman. – Izd. AN SSSR, 1960. – 231 s.
8. *Trenie, iznashivanie i smazka: Spravochnik 4.1 / pod red. Kragel'skogo I. V., Alisina V. V.* – M. : Mashinostroenie, 1978. – 400 s.
9. Isachenkov E. I. *Shtampovka rezinoj i zhidkost'ju* / E. I. Isachenkov. – M. : Mashinostroenie, 1967. – 367 s.
10. *Optimal'naja prisoedinennaja massa v processah tonkolistovoj shtampovki* / V. K. Borisevich [i dr.] // *Impul'snaja obrabotka metallov davleniem*. – Har'kov, 1975. – Вып. 5. – S. 8–10.
11. Anuchin M. A. *Shtampovka vzryvom* / M. A. Anuchin, O. L. Antonenkov, Ju. P. Zhbanov. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 147 s.
12. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* / V. P. Romanovskij. – L. : Mashinostroe-nie. Len-ingr. отд-ние, 1979. – 520 s.
13. Gubkin S. I. *Teorija obrabotki metallov davleniem* / S. I. Gubkin. – M. : Metallurgizdat, 1947. – 532 s.
14. Zubcov M. E. *Listovaja shtampovka* / M. E. Zubcov. – L. : Mashinostroenie, 1967. – 504 s.
15. *Sabel'kin V. P. O sposobah intensifikacii tehnologicheskikh processov vzryvnoj shtampovki detalej korobchatoj formy* / V. P. Sabel'kin // *Vsesojuzn. nauchn.-tehn. konf. 28–31, janv. 1980, ispol'zovanie impul'snyh istochnikov jenergii v promyshlennosti*. – Har'kov, 1979. – S. 40.

Аргат Р. Г. – ст. преп. КрНУ;
Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф. КрНУ;
Пузырь Р. Г. – канд. техн. наук, доц. КрНУ.

КрНУ – Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 15.09.2015 г.