

Рис. 3. Поверхность наметочного пуансона после 127 тыс. рабочих циклов

томобиля ВАЗ-2108 после 227 тыс. циклов штамповки (норматив — 15 тыс. циклов) на прессе мод. К-630 фирмы "Аида" позволило установить, что разрушение рабочих поверхностей носит очаговый характер. Наличие капельной фазы Ti провоцирует износ в рабочей зоне. Не обладая износостойкими свойствами, капли являются концентраторами напряжений и очагами разрушения покрытия (рис. 3). В связи с этим дальнейшее совершенствование технологии получения покрытий связано с использованием оборудования, оснащенного устройствами для сепарации плазменного потока от частиц материала катода [3].

Выводы. 1. В результате исследований установлено, что покрытие из нитрида титана, полученное в режиме ассистирования низкотемператур-

ной газовой плазмой, обладает лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с традиционным покрытием из TiN.

2. Наличие диффузионного подслоя позволяет снизить градиент, уменьшить разницу значений твердости покрытия и основы, повышает предел прочности приповерхностных слоев инструмента, что приводит к существенному изменению характера и скорости износа [4].

3. Результаты, полученные в производстве, подтвердили, что комбинированная технология упрочнения инструмента для ХОШ позволяет увеличить ресурс работы оснастки по сравнению с ресурсом, достигаемым в результате упрочнения по традиционной технологии.

Список литературы

1. Korotaev A. D., Tyumentsev A. N., Pinzhm Yu. P. et al. Modification of the Elastic-Stress and Phase-Structure States of the TiN Coating by Ion-Assisted Deposition // 5th Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Flows, Russia, Tomsk, 2000. P. 418—423.
2. Чуликов А. Б., Полунина О. В., Акифьев В. А. Особенности вакуумного азотирования быстрорежущей стали при использовании источника газовой плазмы // МИТОМ. 1996. № 11.
3. Dodonov A. I., Diamant V. M. Cathodic Arc Low Temperature Separated Ion Deposition: New Technique And Equipment // 5th Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Flows. Russia; Tomsk, 2000. P. 429—434.
4. Вережца А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.

УДК 621.98.3.073:621.793.72:533.9.001.8

С. Р. АМАНОВ, канд. техн. наук; А. В. КИСЛОВ; А. В. ЮКОВ

Влияние поверхностной обработки штампов на коэффициент трения при вытяжке

Задача повышения стойкости штампов — весьма актуальна, она имеет большое научно-техническое и практическое значение.

В связи с широким применением оцинкованных сталей в конструкции автомобиля ВАЗ-2110 возникла проблема, связанная с налипанием цинка на рабочие поверхности штампов и, как следствие, с появлением дефектов на лицевых деталях автомобиля.

В мировой практике для решения такого рода задач применяют хромирование (электролитическое или ионное) рабочих частей штампов, на-

плавку сплавов с заданными свойствами, нанесение тонкопленочных покрытий, снижающих коэффициент трения при штамповке.

Цель данной работы — выбор наиболее эффективного способа повышения стойкости штампов и обеспечения качества штампованных заготовок.

При постановке задачи были сформулированы следующие требования:

- высокие антифрикционные и противозадирные свойства наносимого покрытия;
- ремонтпригодность штампов;
- долговечность покрытия;

— экономичность технологии формирования рабочей поверхности.

Для решения поставленной задачи рассмотрены и проанализированы различные технологии поверхностной обработки штампового инструмента, краткое описание которых, их основные достоинства и недостатки приведены ниже.

1. Технологии вакуумно-диффузионного упрочнения, одно- и многокомпонентное насыщение

Азотирование и цементация широко применяются в настоящее время в производстве. Углерод и азот придают повышенную износостойкость при вязкой сердцевине. Применение вакуумных печей позволяет ускорить насыщение стали благодаря повышению температуры. При этом исключается окисление обрабатываемых изделий, повышается культура производства [1].

Хромирование повышает коррозионную стойкость, сопротивление усталости, дает прочное сцепление слоя с основой. Покрытие сохраняет свои свойства при высоких температурах.

Борирование придает поверхности очень высокую твердость и износостойкость, что значительно увеличивает срок службы оснастки. Недостатки — повышенная шероховатость покрытия, которая сильно затрудняет последующую механическую обработку, и большее (чем после азотирования и цементации) охрупчивание поверхностного слоя.

Эффективность вакуумно-диффузионного упрочнения поверхности азотом, углеродом, бором и хромом можно значительно повысить, если применять многокомпонентное насыщение — карбохромирование, хромоборирование, борохромирование и карбохромоборирование [2].

Существенно повысить эксплуатационные свойства позволяет применение термоциклирования в процессе диффузионного упрочнения [2]. Полученное таким способом комбинированное покрытие отличается мелкозернистой структурой, а следовательно, наряду с высокой твердостью и прочностью имеет высокие показатели пластичности, ударной вязкости, износостойкости.

К сожалению, при всех достоинствах комбинированное вакуумно-диффузионное упрочнение имеет и ряд недостатков с точки зрения применения в штамповочном производстве, а именно: большая трудоемкость (процесс термообработки длится 24 ч, затруднена последующая механическая обработка), невозможность обработки чугунных штампов и штампов больших габаритных размеров.

2. Технологии лазерной обработки

Лазерная закалка наиболее подходит для среднеуглеродистых сталей (30, 45, 50, 55) и низколегированных сталей, поскольку их можно обрабатывать в широком интервале режимов. При этом достигается высокая и равномерная микротвердость.

Высокоуглеродистые стали и чугуны следует обрабатывать при повышенных скоростях без оплавления. При этом имеется узкий интервал режимов, обеспечивающий достаточно высокий уровень микротвердости поверхности. Во многих случаях износостойкость сталей после лазерной закалки оказывается выше, чем после других видов термообработки.

Наиболее подходящими технологическими лазерами российского производства для закалки являются лазеры "Комета" мощностью 1,3 кВт и лазеры МТЛ-2 мощностью 2 кВт, имеющие достаточную эффективность, надежность и экономичность.

Среди методов **лазерного легирования** неметаллическими компонентами (C, N, Si, B) наибольший интерес представляет метод лазерного борирования железоуглеродистых сталей, поскольку он обеспечивает высокую микротвердость поверхности (до 2000 НВ), а также уникальное расположение боридов в поверхностных слоях, отличающееся равномерным чередованием в боридной эвтектике [3], а не слоистостью, как при диффузионном насыщении.

Современное направление в области лазерного легирования — это легирование твердыми сплавами или порошками тугоплавких металлов, а также многокомпонентное легирование с целью улучшения технологических свойств инструмента.

Лазерная наплавка — технологический процесс, который реализуется в основном оплавлением обмазок или шликерных покрытий либо оплавлением газотермических порошковых покрытий при подаче порошка в зону лазерного воздействия. При лазерной наплавке происходит не только измельчение структурных составляющих, но и пересыщение твердого раствора, что значительно повышает износо- и теплостойкость. Кратковременность воздействия лазерного излучения, а также высокие скорости нагрева и охлаждения позволяют избежать значительного термического воздействия на изделие [3].

3. Технологии плазменной обработки

Процесс плазменной закалки и наплавки в целом аналогичен соответствующим технологиям лазерной обработки, но имеет меньшую стоимость и трудоемкость.

Для придания обрабатываемой поверхности большей твердости и износостойкости в зону плазменной дуги подают материал с заданными функциональными свойствами. Наплавляемый материал может быть в виде порошка, проволоки, прутка и т. д.

Недостаток технологии — качество обработанной поверхности хуже, чем при использовании лазера.

Плазменное поверхностное легирование является разновидностью химико-термической обработки. Процесс осуществляется путем плазменно-дугового нагрева поверхности металла под слоем раствора водорастворимого химического соединения, содержащего легирующий элемент. Поверхностное легирование стали возможно только при нагреве с оплавлением, при этом обязательна предварительная очистка обрабатываемой поверхности.

Финишное плазменное упрочнение — технология плазменно-дугового нанесения на воздухе износостойкого тонкопленочного аморфного покрытия толщиной до 3 мкм с одновременной закалкой поверхностного слоя изделия.

Процесс обеспечивает сохранение точности размеров, класса шероховатости поверхности и повышение в 2...6 раз работоспособности штампов, другого инструмента и деталей машин. При этом не требуются предварительная разделка и последующая механическая обработка поверхности, отсутствует необходимость в ее предварительной подготовке (кроме обезжиривания). Использование серийных сварочных источников питания позволяет в кратчайшие сроки реализовать финишное плазменное упрочнение на любых предприятиях [4].

Известные способы нанесения упрочняющих тонкопленочных покрытий (путем конденсации с ионной бомбардировкой, химического осаждения из газовой фазы и др.) наряду со значительными преимуществами обладают рядом недостатков. Прежде всего, это высокая температура нагрева (500...1000 °С) упрочняемых изделий и необходимость применения вакуумных камер. Технология финишного плазменного упрочнения отличается минимальной температурой нагрева (100...150 °С) и отсутствием вакуумных систем и камер, что позволяет упрочнять рабочие поверхности и отдельные участки штампов любых габаритных размеров вручную или в автоматическом режиме при сокращении суммарного времени упрочнения.

Низкая себестоимость и маневренность технологического процесса финишного плазменного упрочнения обусловлены применением широко распространенных источников питания для дуго-

вой сварки и малогабаритных дуговых плазмотронов, а также минимальным расходом реагента.

В качестве реагентов плазмохимических реакций упрочнения используются пары специальной жидкости СЕТОЛ. В результате обработки на поверхности изделия осаждается пленочное покрытие соединений кремния (SiC , SiO_2) толщиной 1...3 мкм слоистой структуры, которое характеризуется отсутствием несплошностей и пор. Термическое воздействие плазменной струи обеспечивает поверхностную закалку на глубину 15...25 мкм. Микротвердость композиции "покрытие — основа" (основа — сталь X12M, исходная твердость 61..62 HRC₃, микротвердость 8,2 ГПа) достигает 14...15 ГПа [5].

Высокая работоспособность упрочненной поверхности обусловлена еще и тем, что нанесенное покрытие, являясь диэлектриком, препятствует схватыванию трущихся поверхностей и выполняет функции коррозионно- и жаростойкого покрытия.

Кроме перечисленных особенностей, эта технология по сравнению с аналогами имеет следующие преимущества: высокую производительность, возможность обработки локальных участков изделия, стабильность и экологическую чистоту.

4. Электролитическое хромирование

Способ осуществляется без нагрева, без предварительной разделки, не требует последующей механической обработки. Хромирование обеспечивает высокую поверхностную твердость и износостойкость. Однако, учитывая габаритные размеры штампов и невозможность обработки локальных участков, способ имеет ограничения, связанные с невозможностью применения ванн больших объемов и с проблемой утилизации отходов.

5. Технология дуговой наплавки бронзовых сплавов

Этот способ упрочнения осуществляется с нагревом, требует предварительной разделки и последующей механической обработки.

Достоинства способа: низкий коэффициент трения при штамповке; не требуются большие производственные площади; можно оборудовать отдельный пост для наплавки; возможна оперативная наплавка покрытыми электродами прямо на прессе, при этом не требуется дорогостоящее специализированное оборудование, так как можно применять любой существующий источник питания для ручной дуговой сварки.

Недостатки способа — повышенная трудоемкость, связанная с необходимостью выполнения предварительной разделки и последующей механической обработки поверхности; высокая стоимость наплавочных материалов.

Одним из путей повышения качества наплавленного слоя, производительности процесса и удешевления (в 1,5...2 раза) наплавочных материалов является полуавтоматическая наплавка плавящимся электродом в среде аргона.

Экспериментальные исследования

В настоящее время в прессовом производстве ОАО "АвтоВАЗ" основным материалом вытяжных штампов для изготовления лицевых деталей автомобилей является чугун ХФ. Для повышения качества получаемых деталей применяют электродуговое напыление бронзой на отдельные участки штампов для снижения коэффициента трения. Однако из-за малой толщины слоя получаемого покрытия при его высокой начальной шероховатости (обработка после напыления не предусмотрена) и малой прочности покрытие быстро истирается.

Были проанализированы различные варианты поверхностного упрочнения штампов и проведены лабораторные испытания образцов из чугуна ХФ как в исходном состоянии, так и после упрочняющей обработки.

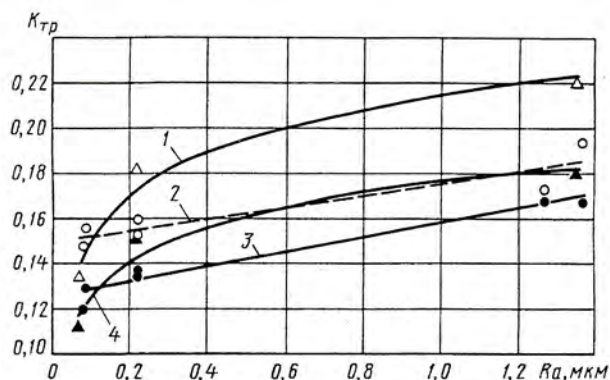
В качестве исследуемой технологии выбрано финишное плазменное упрочнение (ФПУ). Образцы обрабатывали на НПФ "Плазмацентр" (г. С.-Петербург).

Цель исследований — определение значений коэффициента трения при вытяжке листового проката без покрытия и электрооцинкованного (ЭЦ) проката в чугунных штампах, подвергнутых ФПУ, а также в штампах без поверхностной обработки.

Для моделирования процесса вытяжки были изготовлены образцы из чугуна в виде роликов диаметром 50 и шириной 30 мм. На испытательной машине FRZ-100/1 с помощью специального приспособления полосу металла перетягивали через неподвижно закрепленный ролик, чем моделировали поведение металла в вытяжном штампе. При этом один конец полосы фиксировали неподвижно в горизонтальном направлении, полоса огибала ролик, а к другому концу полосы прикладывали растягивающую силу от разрывной машины в вертикальном направлении. При такой схеме нагружения участки полосы, расположенные по разные стороны относительно ролика, получали разные степени деформации, так как в результате действия силы трения металла полосы о ролик растягивающая сила P_1 на ее горизонтальном участке меньше, чем сила P_2 на вертикальном участке. На этом явлении и основан примененный метод определения коэффициента трения, рассчитываемого по формуле

$$K_{тр} = \ln(P_1/P_2)/\alpha, \quad (1)$$

где α — угол охвата ролика полосой.



Зависимость коэффициента трения от шероховатости поверхности штампа из чугуна ХФ:

1, 4 и 2, 3 — чугун без обработки и после ФПУ соответственно; 1, 2 и 3, 4 — прокат без покрытия и ОЦ прокат соответственно

Условия проведения испытаний: размер полосы 450 × 20 × 0,8 мм; материал — сталь 08Ю-ОСВ; количество образцов листового металла на каждый вид испытаний — 3; смазочный материал — индустриальное масло И-20; скорость нагружения образцов — постоянная, 10 мм/мин.

Поверхность чугунных образцов (роликов) формировали с тремя значениями шероховатости (таблица) для установления ее влияния на коэффициент трения.

Для каждого варианта изготовления штампа (с ФПУ и без ФПУ) и каждого значения шероховатости проводили по три испытания по вытяжке ЭЦ стали и стали без покрытия. Средние арифметические значения коэффициентов трения для некоторых значений шероховатости приведены в таблице.

Результаты экспериментов представлены на рисунке.

После обработки полученных значений по методу наименьших квадратов установлено, что зависимость коэффициента трения от шероховатости удовлетворительно описывается следующими уравнениями:

Вид обработки	Шероховатость Ra , мкм	Коэффициент трения	
		Черный прокат	ЭЦ
Без обработки	0,07	0,1111	0,1337
	0,22	0,1511	0,1813
	1,35	0,1793	0,2197
ФПУ	0,08	0,1199	0,1474
	0,224	0,1365	0,1528
	1,27	0,1681	0,1729

при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,96$ (рисунок, кривая 1)

$$y = 0,028 \ln x + 0,215; \quad (2)$$

при $R^2 = 0,99$ (рисунок, кривая 2)

$$y = 0,021x + 0,147; \quad (3)$$

при $R^2 = 0,95$ (рисунок, кривая 3)

$$y = 0,037x + 0,122; \quad (4)$$

при $R^2 = 0,95$ (рисунок, кривая 4)

$$y = 0,022 \ln x + 0,176. \quad (5)$$

При уменьшении шероховатости поверхности до $Ra = 0,07...0,08$ мкм коэффициенты трения для чугуна без обработки и после ФПУ практически выравниваются. С увеличением шероховатости до $Ra = 0,4...1,4$ мкм кривые на рисунке располагаются практически параллельно. Для значений $Ra = 0,6...1,0$ мкм, соответствующих значениям шероховатости штамповой оснастки, ФПУ позволяет сократить коэффициент трения на 11...13 % при вытяжке проката без покрытия и на 22...25 % при вытяжке ЭЦ проката.

Список литературы

1. *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П.* Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. 527 с.
2. *Гончаров В. С.* Анализ пути совершенствования диффузионных покрытий // Наука, техника, образование города Тольятти и Волжского региона: Межвуз. сб. науч. тр. Ч. 2. Тольятти: ТолПИ, 1999. 422 с.
3. *Тополянский П. А., Карасев М. В.* Прогрессивные технологии ремонта, восстановления, упрочнения и защиты от коррозии машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций // Промышленный вестник. 1998. № 5. С. 12—15.
4. *Соснин Н. А., Тополянский П. А., Ермаков С. А.* Плазменные безвакуумные технологии упрочнения инструмента и технологической оснастки // Материалы практического семинара "Инструмент и технологическая оснастка: методы повышения эффективности". С.-Петербург: СПбГТУ, 2002. 96 с.
5. *Ермаков С. А., Тополянский П. А., Соснин Н. А.* Восстановление вырубных штампов холодного деформирования методом плазменно-порошковой наплавки // Газотермическое напыление в промышленности: Докл. Международного семинара. С.-Петербург: 1993. 148 с.

УДК 621.98:658.512.011.56.001.573

А. Н. АНТОНЕЦ

Применение компьютерного моделирования для оценки штампуемости деталей автомобильных кузовов

В последние годы постоянно происходит усложнение и упрочнение кузовных деталей современных автомобилей при возрастающих требованиях к качеству и точности их изготовления.

Кузова автомобилей должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь эстетичные формы, соответствующие замыслу дизайнеров;
- быть удобными для потребителей;
- соответствовать требованиям, предъявляемым к пассивной безопасности и одновременно состоять из наименьшего количества деталей;
- быть технологичными при сварке, штамповке и окраске, а также при сборке автомобилей в условиях массового производства и др.

Учитывая сказанное, инженер-технолог при оценке технологичности кузовных деталей на стадии согласования конструкции нового изделия должен найти такие решения, которые сохранят замысел дизайнеров и конструкторов и в то же время обеспечат возможность штамповки детали в условиях массового производства.

Ранее на АвтоВАЗе при оценке штампуемости автокузовных деталей руководствовались только критериями, приведенными в работах [1, 2]. Затем

разрабатывали технологию штамповки по принципам, описанным в работах [1, 3], проектировали штампы и после их изготовления проверяли принятые решения на практике. Очевидно, что при таком подходе слишком многое зависело от личного опыта специалистов. Кроме того, проходило много времени от постановки задачи до ее реализации, и скорректировать принятые решения по конструкции деталей и технологии штамповки было уже трудным и дорогостоящим мероприятием.

В настоящее время в распоряжении специалистов АвтоВАЗа имеется компьютерная программа AutoForm [4], которая позволяет моделировать процессы холодной листовой штамповки и принимать правильные решения за сравнительно короткое время. При проектировании автокузовных деталей можно на начальных этапах разработки нового автомобиля предусмотреть в конструкции детали различные сложные для штамповки элементы, а затем с помощью системы AutoForm провести компьютерные эксперименты по технологии изготовления такой детали. Если во время компьютерных экспериментов будет найдено технологическое решение, при котором получается деталь приемлемого качества, то такую конструк-