

Вывод

Разработана методика компьютерного проектирования оптимальных универсальных калибровок валков в черновых клетях сортовых станов при условии минимизации типоразмеров калибров в каждой клетки и выбора оптимальных сечений и количества исходных заготовок.

Список літератури

1. Оптимизация прокатного проиводства / А.Н.Скороходов и др. – М: Металлургия, – 1983. – 432 с.
2. Шилов В.А. Система автоматизированных расчетов оптимальных калибровок простых сортовых профилей. Сообщение 1 / В.А. Шилов, И.А. Колобков, В.К. Смирнов // Изв. вузов. Черная металлургия, – 1982, № 4. – С. 50–55.
3. Шилов В.А. Система автоматизированных расчетов оптимальных калибровок простых сортовых профилей. Сообщение 2 / В.А. Шилов, И.А. Колобков, В.К. Смирнов // Изв. вузов. Черная металлургия, –1982, № 6. – С. 65–69.
4. Медведев В.С., Стрюков С.Б. Комплексное автоматизированное проектирование калибровок валков для прокатки сортовых профилей на базе типовых программных модулей // Металлургическая и горнорудная промышленность, –2000, № 8-9. – С.198–201.

УДК 623.746: 629.7.083.003.13 (045)

Е.Б. Сорока¹, В.А. Титов², д-р техн.наук, проф., Б.А. Ляшенко¹, д-р техн.наук,
О.В. Герасимова³, инж.

1 – Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренка НАН Украины, г.Киев, Украина;

2 – НТУ Украины "Киевский политехнический институт";

3 – Национальный авиационный университет, г.Киев, Украина

УПРОЧНЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ ПОКРЫТИЯМИ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

Досліджені структура, фазовий склад, якість поверхні, твердість та зносостійкість поверхневих шарів деталей із сталі 30ХГСА, які зміцнені газотермоциклічним іонним азотуванням. Показано, що завдяки формуванню дифузійного шару значно підвищуються механічні та експлуатаційні властивості оброблених деталей.

A structure, phase composition, surface quality, hardness and wearproof of superficial layer of the strengthened by gasthermocyclic ionic nitriding 30XGSA steel details is explored. It is shown that mechanical and operating properties of the treated details grow considerably due to diffusive layer forming.

Состояние проблемы. Износ штампов представляет центральную проблему при операциях штамповки в технологическом и организационном отношении [1]. Повышение долговечности штампов диктуется жесткой конкуренцией на рынке этой продукции. Основные тенденции сводятся к повышению качества и срока службы штампов [2]. Наиболее успешно эти тенденции реализуются применением упрочняющих покрытий [3]. Оценка развития рынка упрочняющих покрытий, наносимых вакуум-плазменным методом (PVD), показала, что если в 1980 г. доля

режущих инструментов составляла 95%, то в 2000 г. – только 50%, а остальные 50% приходились на упрочнение штампов и деталей узлов трения [4].

Упрочняющие покрытия многократно повышают долговечность штампов. Низкотемпературная нитроцементация повысила стойкость вырубных штампов в 1,4-1,5 раза [5]. Лазерное легирование повысило стойкость вырубных пуансонов в 2,5-5 раз [7 – 9]. Ионная нитроцементация повысила долговечность вырубных штампов в 6 раз [10]. Значительный эффект упрочнения обеспечивает применение тонких сверхтвердых пленок толщиной 2-10 мкм, нанесенных методом PVD [11, 12]. Покрытие TiN увеличило стойкость вырубных пуансонов в 3 раза, покрытие TiCN – в 7 раз, покрытие (TiAl)N – 17,5 раз и покрытие (TiB)CN – в 87,5 раз [10]. Считают [13], что наиболее перспективными являются многокомпонентные наноструктурные пленки составов TiBSiN и TiBCrN, наносимые методами PVD.

В промышленной практике для упрочнения вырубных штампов применяют также технологии электроискрового легирования и поверхностно-пластического деформирования [3].

Успехи в развитии технологии ионного азотирования позволяют перейти к реальному серийному упрочнению штампов при обеспечении надежности технологического процесса и необходимых потребительских свойствах упрочняемых изделий с многократным повышением стойкости штампов [14, 15].

Необходимость поверхностного упрочнения штампов вызвана также применением более дешевых и легче обрабатываемых материалов, в том числе применением алюминиевых сплавов для изготовления штампов [16].

Наиболее нагруженным элементом является пуансон вырубного штампа. Характерным механизмом износа является выкрашивание режущей кромки пуансона. Малоцикловое разрушение вырубного пуансона обуславливает весьма низкую долговечность - 103-104 циклов нагружения при средней долговечности 105-106 циклов [16, 17]. Ускоренный усталостный износ пуансона вызывается также его высокочастотной вибрацией в направлении оси движения пуансона, что обусловлено ударной разгрузкой, накопленной в прессе энергии деформирования при скеле обрабатываемого материала [18].

Упрочняющим покрытием присущи такие недостатки как растрескивание и отслоение при высоких контактных нагрузках в условиях эксплуатации. Именно эти явления ограничивают ресурс штампа с покрытием. Покрытие TiC/TiN, нанесенное химическим методом (CVD), существенно увеличивает долговечность штампов. В тех же условиях эксплуатации эти же покрытия, нанесенные методом PVD, не показали никакого увеличения долговечности из-за низкой адгезионной прочности покрытия [19]. Гальванические Cr-покрытия не всегда отвечают требованиям износостойкости, а газотермические покрытия из-за недостаточной прочности сцепления требуют дополнительной обработки, что удорожает изготовление штампа [20]. Отмечают быстрый износ CrN-покрытия при повышении скорости деформирования и рабочего давления [21]. При карбонитрировании стойкость штампов при вырубке магнитопроводов из электротехнической стали толщиной 0,2 мм увеличивается в 1,4-1,5 раза,

а при вырубке листового материала толщиной 1,0 мм и более такое упрочнение не дает положительных результатов, что связано с выкрашиванием кромки [22].

Поэтому задача повышения несущей способности упрочняющих покрытий на штамповом инструменте, работающем при высоких контактных нагрузках, остается актуальной. Существенное повышение нагрузочной способности покрытий реализует принцип покрытий дискретной структуры повышенной термомеханической стойкости [23]. Этот принцип позволяет многократно повысить предельное состояние покрытия: контактные нагрузки – в несколько раз, критические деформации основы – до 2 порядков, долговечность – в несколько раз по сравнению со сплошным покрытием той же толщины, состава и твердости. Снижаются многократно остаточные напряжения, что позволяет увеличивать толщину покрытия.

Цель работы: выбор конструктивных схем упрочняющих дискретных покрытий на вырубных штампах по критерию минимума напряженно-деформированного состояния при эксплуатации, а также выбор методов технологической реализации этих конструктивных схем.

Методика исследований. В рабочем цикле разделительного штампа можно выделить два основных этапа [24]: этап малых упругопластических деформаций заготовки и этап пластического среза заготовки. На первой стадии нагрузки действуют только на торцевые поверхности пуансона и матрицы. На второй стадии нагрузки на торцевые поверхности возрастают и появляются нагрузки на боковые поверхности пуансона и матрицы. На первом этапе поверхностный слой пуансона и матрицы работает на изгиб как балка на упругом основании. А на втором этапе материал поверхностного слоя находится в условиях неравномерного всестороннего сжатия. Исходя из предположения о хрупкости поверхностного слоя, становится ясно, что в конце первого этапа поверхностный торцевой слой пуансона и матрицы находится в более жестких условиях нагружения, чем на втором этапе. Поэтому в качестве расчетной схемы выбрать схемы этапа 1 (рис.1).

Распределение нормальных и касательных нагрузок, полученное экспериментальным методом, заимствовано из [24]. В качестве материала пуансона и матрицы выбрана сталь У10А, а в качестве материала покрытия выбран твердый сплав ВК6.

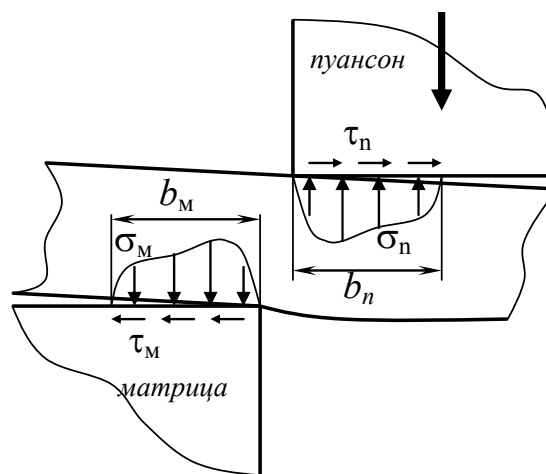


Рис.1. Схема нагрузок, действующих на пуансон и матрицу на стадии малых упругопластических деформаций заготовки.

Таблица 1

Механические характеристики материалов приведены в таблице 1.

Материал	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Предел прочности при растяжении $[\sigma_+]$, МПа	Предел прочности при сжатии $[\sigma_-]$, МПа
У10А	21x104	0,26	1700	2700
ВК6	72x104	0,26	350	2720

Построение и расчет моделей проводились численным методом конечных элементов [25], выбор которого обусловлен относительной простотой и значительной универсальностью. Этот комплекс имеет все необходимые инструменты для проведения полного цикла моделирования. В практике проектирования метод конечных элементов при анализе напряженно-деформированного состояния используется для повышения долговечности штамповой оснастки [26]. По расчетным компонентам напряжений и главным напряжениям вычисляли эквивалентные напряжения по критерию Г.С.Писаренко-А.А.Лебедева [27]:

$$\sigma_{ekv} = \chi \sigma_i + (1 - \chi) \sigma_1, \quad (1)$$

$$\chi = \frac{[\sigma_+]}{[\sigma_-]}, \quad (2)$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}; \quad (3)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3,$$

$[\sigma_+]$ - предел прочности при растяжении; $[\sigma_-]$ - предел прочности при сжатии.

По рассчитанным согласно (1-3) эквивалентным напряжениям вычисляется уровень напряжений:

$$\sigma_e = \frac{\sigma_{ekv}}{[\sigma_+]} \quad (4)$$

В качестве σ_{ekv} из формулы (4) принимаем максимальное значение эквивалентного напряжения в какой-либо зоне покрытия.

Результаты и их обсуждение. Результаты расчетов уровня напряжений в сплошных покрытиях приведены на рис.2, 3. Как видно из рисунка 2, напряжения в покрытии быстро возрастают с увеличением ширины покрытия L относительно ширины контактного пояса b. Это справедливо для любых соотношений толщины покрытия h и ширины контактного пояса b. Наименьшее напряжение в покрытии достигается, когда его ширина равна ширине контактного пояса.

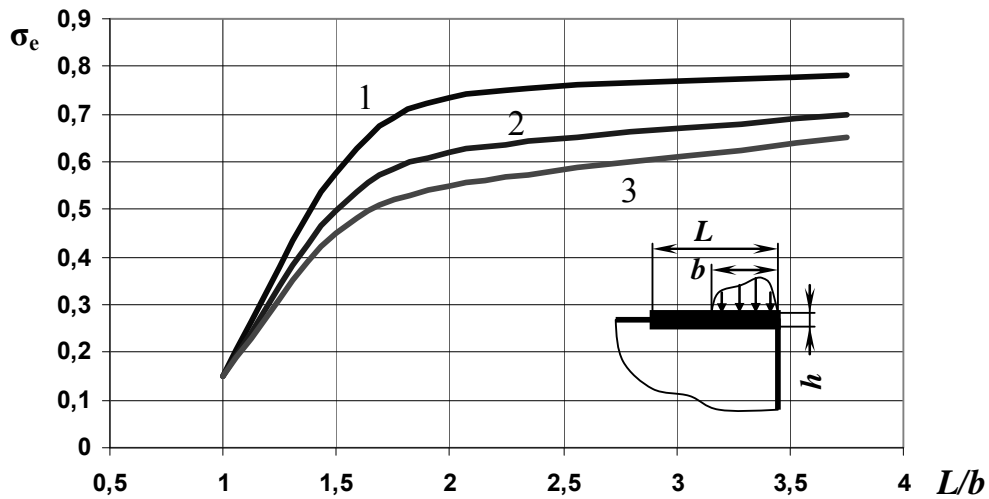


Рис.2. Зависимость напряжений в покрытии ВК6 от ширины покрытия:
 1 – $h/b=0,04$; 2 – $h/b=0,08$; 3 – $h/b=0,12$.

Из рис. 3 легко видеть, что при ширине покрытия, большей ширины контактного пояса, наблюдается монотонное снижение напряжений с ростом толщины покрытия (кривые 2, 3), а для ширины покрытия, равной ширине контактного пояса (кривая 1), существует соотношение линейных параметров покрытия, соответствующее минимуму уровня напряжений.

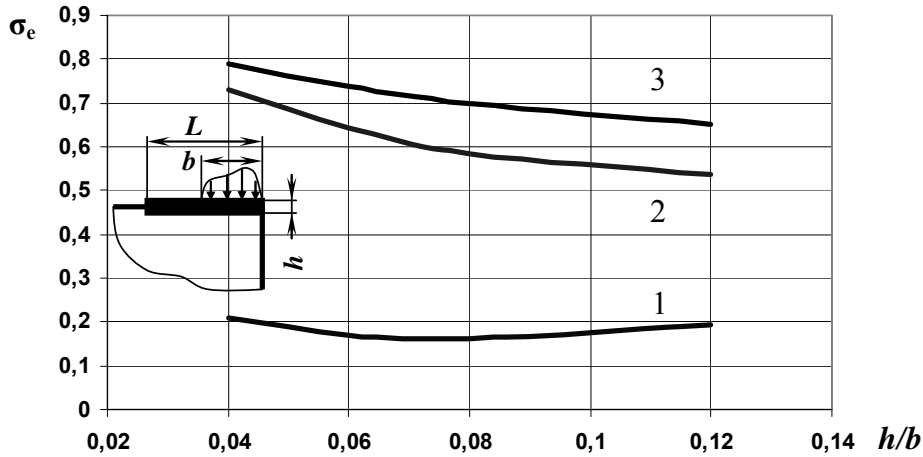


Рис.3. Зависимость напряжений в покрытии ВК6 от толщины покрытия:
 1 – $L/b=1$; 2 – $L/b=2$; 3 – $L/b=3,8$.

Существенно снизить уровень напряжений и, тем самым, повысить несущую способность слоя удастся изменением конструкции поверхностного слоя.

На рисунках 4, 5 приведены результаты расчетов уровня напряжений для покрытий дискретной структуры.

Как видно из рисунка 4, увеличение ширины дискретного покрытия L относительной ширины контактного пояса b , также как и для случая со сплошным покрытием, вызывает повышение уровня напряжений в неразрезном поверхностном слое: сплошном (кривая 1) или переменной толщины (кривые 2, 3).

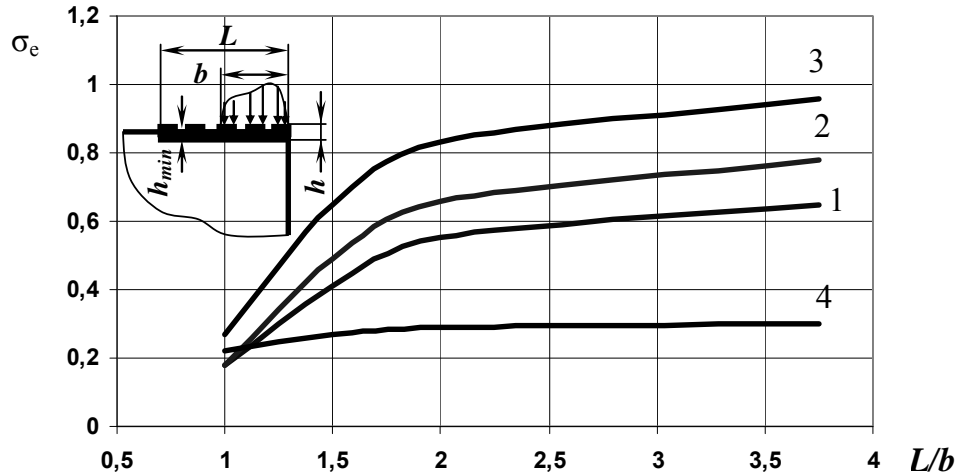


Рис.4. Зависимость напряжений в дискретных покрытиях ВКб от ширины покрытия:
 1 – $h_{min}/h=1$; 2 – $h_{min}/h=0,67$; 3 – $h_{min}/h=0,33$; 4 – $h_{min}/h=0$.

Минимальное влияние ширины покрытия достигается на дискретном слое «разрезной» («островковой») конструкции, когда минимальная толщина слоя h_{min} равна 0 и элементы («островки») покрытия не связаны друг с другом. Для такой конструкции напряжения в покрытии несколько возрастают только до $L=2b$ и далее не изменяются (кривая 4). Из рисунка 5 видно, что с уменьшением минимальной толщины дискретного покрытия h_{min} , особенно для случаев, когда ширина покрытия превышает ширину контактного пояса (кривые 2, 3), уровень напряжений в покрытии существенно возрастает. Этот факт имеет простое объяснение, так как уменьшается его изгибная жесткость покрытия (балки).

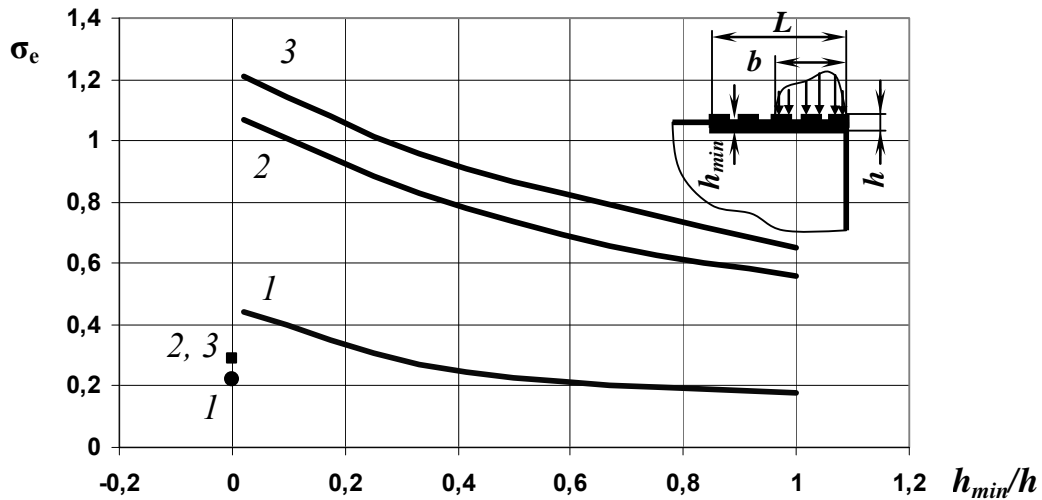


Рис.5. Зависимость напряжений в дискретных покрытиях ВКб от степени дискретности: 1 – $L/b=1$; 2 – $L/b=2$; 3 – $L/b=3,8$.

В точке $h_{min}=0$, т.е. для разрезной конструкции независимо от соотношения ширины покрытия и ширины контактного пояса, имеет место скачкообразное снижение напряжений (точки 1, 2, 3). В этом случае каждый из коротких участков покрытия работает как отдельный элемент со значительной жесткостью. Следует

отметить, что для случая, когда ширина контактного пояска равна ширине покрытия в диапазоне $h_{min}/h \leq 0,5$, наилучшей конструкцией покрытия является «островковая». А в диапазоне $h_{min}/h \geq 0,5$ такого же низкого уровня напряжений можно достичь при «неразрезной» конструкции, т.е. с увеличением жесткости (кривые 1, 2 на рис. 4; кривая 1 на рис. 5). Этот результат особенно важен для ситуации, когда к покрытиям предъявляются требования сплошности, например, для защиты от коррозии.

Следует отметить, что все расчеты для покрытий дискретной структуры проводились для дискретного слоя сплошностью $\psi=70\%$. При этом под сплошностью понимаем отношение площади участков толщиной h к общей площади покрытия. Выбор сплошности, очевидно, связан как с технологическими особенностями формирования поверхностного слоя, условиями работы детали и инструмента, так и с необходимостью учета того факта, что при дискретизации поверхностного слоя внешняя нагрузка оказывается распределенной по меньшей площади и вызывает, таким образом, более высокие значения напряжений в основе. Вместе с тем, в условиях изнашивания создание достаточных междискретных промежутков («карманов»), является благоприятным явлением, так как, задерживая продукты износа и смазки, улучшает условия фрикционного контакта [28].

Рекомендации по рациональным конструктивным схемам покрытий. Полученные результаты расчетов позволяют сделать ряд рекомендаций относительно конфигурации поверхностного слоя разделительных штампов.

Сплошное покрытие постоянной толщины при неизменной ширине контактного пояска обеспечивает уровень напряжений даже несколько более низкий, чем «островковое». Однако, неизменность ширины контактного пояска невозможна в связи с тем, что с ростом нагрузки возрастает площадь контакта, т.е. ширина контактного пояска. Кроме того, штампы обычно рассчитаны на заготовки различной толщины или из различных материалов. В таком случае ширину покрытия выбирают по ширине максимального контактного пояска. Следует отметить, что при ширине покрытия, превышающей ширину контактного пояска, может наступить адгезионное отслоение по краям покрытия [29]. Таким образом, рациональной конструкцией покрытия следует считать «островковую», которая соответствует минимальному уровню напряжений практически независимо от ширины контактного пояска и обеспечивает высокую адгезионную стойкость участков покрытия.

Основанием для выбора сплошности является рациональное соотношение между увеличением напряжений в приповерхностных слоях основного материала и необходимостью создать междискретные промежутки для улучшения условий фрикционного контакта.

Технологическая реализация конструктивных схем дискретных покрытий.

Принцип покрытий дискретной структуры на торцевых поверхностях разделительных штампов реализуется различными технологиями поверхностного упрочнения. Наиболее прост и доступен для нанесения дискретного покрытия метод электроискрового легирования (ЭИЛ), который дискретен по своей природе [30-35].

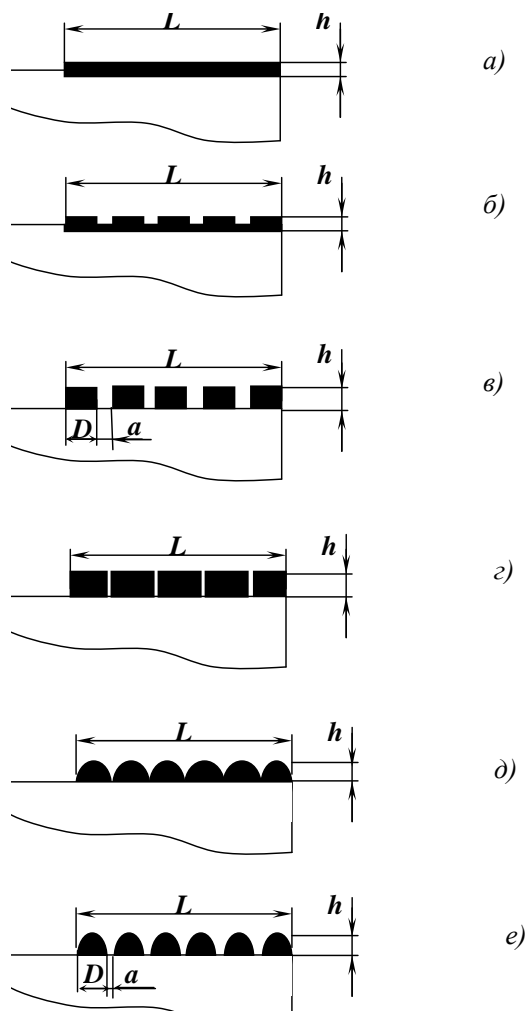


Рис.6. Конструктивные схемы покрытий на штамповом инструменте:
 а) – сплошное покрытие; б) - е) – дискретной структуры.

Дискретная природа лазерного упрочнения позволяет обрабатывать дискретными участками лишь 12...18% поверхности. С увеличением сплошности свыше 12...18% вплоть до 100% не повышается износостойкость при лазерном упрочнении [39]. Учет этого обстоятельства приведет к росту производительности лазерного упрочнения минимум в 3 раза при одновременном снижении затрат электроэнергии также в 3 раза. Это обстоятельство позволит также отказаться от сложных «роботизированных» систем перемещения и сканирования лазерного луча, перейдя на один ускоренный проход в одном направлении. Лазерная технология реализует конструктивную схему (рис.6 – д, е).

Положительный эффект при нанесении дискретных покрытий обеспечивает применение гибких вакуум-плазменных технологий [40-43]. Для нанесения покрытий дискретной структуры вакуум-плазменным методом используют экраны, изготовленные из металлической сетки. Геометрические параметры сеток выбирают из расчетных значений размера дискретного участка и сплошности, обеспечивающих

Наибольший эффект в повышении износостойкости достигается при суммарной площади дискретных участков 60...70%. Это позволило многократно увеличить производительность обработки методом ЭИЛ за счет нанесения дискретного покрытия только за один проход с обработкой 60...70% поверхности. Наиболее успешно дискретные покрытия, нанесенные методом ЭИЛ, эксплуатируются при упрочнении штампов, особенно вырубных, повышая долговечность штамповой оснастки в 2,6 и более раз при штамповке труднодеформируемых материалов. Метод ЭИЛ реализует конструктивные схемы (рис.6-д,е).

Дискретная точечная закалка позволяет избежать деформационных поводов и финишного шлифования за счет низкой температуры обрабатываемого изделия (менее 1000С) и отсутствия закалочных сред, «сухой» и «холодный» процесс требует на порядок меньше электроэнергии по сравнению с традиционной закалкой ТВЧ [36-38]. Метод реализует конструктивную схему (рис.6 - е).

минимальный уровень напряженно-деформированного состояния покрытия в условиях эксплуатации. Расстояние между экраном и деталью определяет форму кромки отдельного дискретного участка. Эта технология реализует конструктивные схемы (рис.6 – в, д, е). Схема б) (рис.6) реализуется путем увеличения по нормали расстояния сетчатого экрана от поверхности детали [40]. Одним из технологических вариантов изготовления сетчатого экрана может быть нанесение защитной пасты на поверхность детали. При ионном азотировании дискретная структура по схеме в), д), е) (рис.6) обеспечивается применением паст, наносимых по трафарету [44-47].

Метод газодетонационного напыления обеспечивает покрытие дискретной структуры по схеме б), е) (рис.6) с применением сетчатого экрана [48].

При формировании дискретной конфигурации поверхностного слоя одним из вышеперечисленных методов встает вопрос не только о размерах покрытой зоны и форме участков, но и о размерах самого дискретного участка. Было положено начало таких исследований и даны рекомендации по рациональным размерам участков вакуум-плазменных и электроискровых покрытий с точки зрения соблюдения адгезионной, когезионной и контактной прочности в различных условиях эксплуатации [28, 49-51].

Выводы.

Дискретная структура позволяет повысить несущую способность покрытий на штамповом инструменте;

конструктивные параметры дискретной структуры определяются из условия минимума напряженно-деформированного состояния при эксплуатации;

нанесение дискретных покрытий реализуется серийными технологиями: ЭИЛ и лазерной технологией без каких-либо изменений, газотермическими и вакуумными методами – применением сетчатых экранов или защитных паст.

Список литературы

1. Doege E., Schliephake U., Nägele H. Ausfallprognose an Gesenkschmiedewerkzeugen // Umformtechnik – 1993 – 27, № 1. –S.58-63.
2. Schuh G., Weber P., Zohm F. Was macht Werkzeugbauer erfolgreich? // Technica (Suisse), 2003 – 52, № 7. –S. 12-14, 16.
3. Долматов А.И., Богуслаев А.В. Повышение жизненного цикла оснастки на основе защитных технологий. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2000 – 296 с.
4. Teeter F.J. Improved P/M tooling performance through the use of PVD thin film wear resistant coatings // Compact., Sinter. and Second. Oper.: Proc. 1994 Int. Conf. and Exhib. PM and Part. Mater., Toronto, May 8-11, 1994 – Princtone (N.J.), 1994 – P.1-9.
5. Салманов Н.С. Упрочнение режущих деталей вырубных штампов из полутеплостойких сталей // МиТОМ – 1997 - № 12.-С.27-28.
6. Прохорова А.И., Белова С.А., Зуев В.М. Лазерное упрочнение штампового инструмента // Автомоб. пром-сть – 1999 - № 10.-С.23-24.
7. Баженова Л.В., Каюнов С.В., Якушкин Г.И. и др. Термообработка вырубных штампов импульсным лазерным излучением // Технол. и орг. пр-ва (Киев) – 1987 - № 2.-С.45-47.
8. Томсинский В.С., Гаврилов В.В., Калашникова М.С. и др. Лазерное легирование и упрочнение поверхности штамповых сталей // Вопр. металловед. и терм. обр. мет. и сплавов. Челябин. гос. техн. ин-т – Челябинск – 1993.-С.66-71.
9. Митин В.Я., Тескер Е.И., Бондаренко Ю.В. и др. Повышение стойкости вырубного инструмента излучением лазера // Металловед. и прочн. матер. Волгогр. политехн. ин-т – Волгоград, 1988.-С.33-37.
10. Schulz H., Dubenkropp G., Vogel J. Einsatz von Hartstoffschichten bei der Blechumformung // Blech - Rohre - Profile – 1992 – 39, № 12. –S.1039-1041.

11. Mutte F. Fester Eindruck // Maschinenmarkt – 2006 - № 12. –S.36-37.
12. Dünne Schichten haben es in sich // ZulieferMarkt Konstr. und techn. Einkäufe – 2002 - № 5 –S.58.
13. Панфилов Ю.В., Гладышев И.В., Левашов Е.А. и др. Многокомпонентные наноструктурные тонкопленочные покрытия для упрочнения инструмента // Матер. 10 междунар. науч.-техн. конф. «Высокие технологии в промышл. России» и 14 Междунар. симп. «Тонкие пленки в электронике», Москва, 9-11 сент. 2004. М.: Изд-во ЦНИТИ «Технологии», 2004. –С.322-334.
14. Фукс-Рабинович Г.С. Комплексная технология упрочнения вырубных штампов // Кузн.-штамп. пр-во – 1993 - № 1.-С.17-19.
15. Plasma – Wärmebehandlung plus Hartstoffbeschichtung für bessere Umformtechnik // Galvanotechnik – 2004 – 95, № 4 – S.956.
16. Георгиев М.Н., Фукс-Рабинович Г.С. Роль трещиностойкости в изнашивании гетерофазных штамповых сталей при вырубке // Физ.-хим. мех. матер. – 1987 – 23, № 3.-С.63-66.
17. Георгиев М.Н., Фукс-Рабинович Г.С. Влияние трещиностойкости инструментальных сталей на долговечность вырубных штампов // Физ.-хим. мех. матер. – 1986 - № 4.-С.89-92.
18. Scheitza M. Schritt für Schritt: Einflüsse auf die Werkzeugstandzeit bei Umformen mit einer Differenzdruckpresse // Maschinenmarkt – 1992 – 98, № 21.-S.22-24, 26.
19. Franklin S.E. The wear behaviour and practical performance of coated tools for metal stamping // EUROTRIB 89: Proc. 5th Int. Congr. Tribol., Espoo, June 12, 1989, Vol. 1 – Espoo – 1989.-P.234-239.
20. Trojahn W. Möglichkeiten zum Beschichten von Massivumformwerkzeugen // Drahtwelt – 1986 – 72, № 3.-S.76-79.
21. Bernacchi E., Ferrero A., Gariboldi E. et al. PVD coatings in aluminium die casting dies and steel forming tools // Metal. Sci. and Technol. – 1996 – 14, № 1.-P.3-11.
22. Салманов Н.С. Упрочнение режущих деталей вырубных штампов методом низкотемпературного карбонитрирования // Изв. вузов. Черн. металлургия – 1997 - № 6. –С.39-40.
23. Ляшенко Б.А., Мовшович А.Я., Долматов А.И. Упрочняющие покрытия дискретной структуры // Технологические системы – 2001 - № 4 (10) –С.17-25.
24. Михайленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов – М.: Машиностроение, 1976. – 207 с.
25. Конечно-элементный комплекс MSC VisualNastran for Windows 2003 S№141087607592353bb492cfce94a.
26. Rich T.P., Orbison Y.G. Analysis of two metal-forming die failures // “Case Hist. Involv. Fatigue and Fract. Mech. Symp., Charleston, 21-22 March, 1985”. Philadelphia, 1986 –P.311-335.
27. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наукова думка, 1976 – 515 с.
28. Антонюк В.С., Сорока О.Б., Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. Дискретні покриття на різальному інструменті // Пробл. прочности. – 2007. - №1. – С. 138-143
29. Сорока О.Б. Вибір параметрів дискретно-модифікованих зносостійких поверхонь. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: Приладобудування. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – Вип. 33. - С.119 –126
30. А.с. 677549 (СССР), С23С 9/00, В23Р 1/18. Способ нанесения покрытий / Ляшенко Б.А., Ришин В.В., Уманский Э.С. и др. – Оpubл. 30.07.79, Бюл. № 28.
31. А.с. 1035903 (СССР), В23Р 1/18. Способ электроискрового упрочнения / Дигам М.С., Кузема Ю.А., Ляшенко Б.А. и др. – Оpubл. 15.08.83, Бюл. № 30.
32. А.с. 1262827 (СССР), В23Н 9/00. Способ электроэрозионного упрочнения / Кузема Ю.А., Побировский В.И., Булах Ю.Г., Дигам М.С., Ляшенко Б.А. – Оpubл. 07.10.86, Бюл. № 37.
33. А.с. 13/1107 А (СССР), В23Н 9/00. Способ нанесения покрытия/ Булах Ю.Г., Побировский В.И., Кузема Ю.А., Дигам М.С., Ляшенко Б.А. . – Оpubл. 15.05.87, Бюл. № 18.
34. А.с. 1561332 А1 (СССР). Способ обработки рабочей поверхности штампов для горячей штамповки / Дмитриев Ю.В., Шалай А.Н., Богуш В.Н., Ляшенко Б.А., Цыгулев О.В. – Оpubл. 1990, Бюл. № 16.
35. А.с. 1733502 А2 СССР. Устройство для нанесения покрытий / Хаппалаев А.Ю., Цыгулев О.В., Веремчук В.С., Ляшенко Б.А., Абачараев М.М., Рутковский А.В. – Оpubл. 15.05.92, Бюл. № 18.
36. Pat. DE 196 26 008 А1 (BRD), С21D1/09. Verfahren zur Härtung von Oberflächen bei Stahl und Gubeisen / Marci G., Lyashenko B.A., Rutkowski A.V. – Offenlegungstan 06.02.97.
37. Пат. України № 55099А, С21D 1/40. Спосіб електроконтактного поверхневого загартування деталей / Мілевський С.В., Ляшенко Б.А., Клименко С.А. та ін. Оpubл. 17.03.2003, Бюл. № 3.
38. Пат. України № 55100А, С21D 1/40. Спосіб електроконтактного поверхневого загартування / Мілевський С.В., Ляшенко Б.А., Клименко С.А. та ін. – Оpubл. 17.03.2203, Бюл. № 3.
39. А.с. 1515709 А1 (СССР), С21D 1/06. Способ обработки поверхности детали / Коваленко В.С., Романчук А.Ф., Мельниченко Ю.П., Высоцкий Ю.К., Ляшенко Б.А., Цыгулев О.В. – Оpubл. 1989, Бюл. № 38.

40. Соловых Е.К., Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. и др. Технологическое обеспечение вакуум-плазменных покрытий дискретной структуры // Технологические системы – 2007 - № 2 (38).-С.22-27.
41. А.с. 1198983 (СССР), С23С 14/04. Способ нанесения износостойких несплошных покрытий в вакууме / Матвеев Н.В., Краснов А.Н., Милосердов И.В., Орещенков Ю.В., Ляшенко Б.А., Цыгулев О.В. – Оpubл. 15.12.85, Бюл. № 46.
42. А.с. 1292377 (СССР), С23С 14/32. Способ получения бугристых покрытий / Матвеев Н.В., Краснов А.Н., Милосердов И.В., Орещенков Ю.В., Демьянович Н.А., Ляшенко Б.А. – Оpubл. 23.02.87, Бюл. № 7.
43. А.с. 1598478 А1 (СССР), С23С 14/04. Способ нанесения износостойких покрытий / Цыгулев О.В., Ляшенко Б.А., Бякова А.В. и др. – Оpubл. 1990, Бюл. № 37.
44. А.с. 1491042 А1 (СССР), С23С 14/48. Способ получения бугристых покрытий / Цыгулев О.В., Каплун В.Г., Ляшенко Б.А. и др. – Оpubл. 1989, Бюл. № 24.
45. А.с. 1506932 А1 (СССР). Способ нанесения износостойких покрытий в вакууме / Цыгулев О.В., Каплун В.Г., Ляшенко Б.А. и др. – Оpubл. 1989, Бюл. № 33.
46. А.с. 1687645 А1 (СССР), С23С 8/12. Способ азотирования стальных изделий / Каплун В.Г., Каратеев А.М., Пастух И.М., Паршенко А.В., Ляшенко Б.А., Цыгулев О.В. – Оpubл. 30.10.91, Бюл. № 40.
47. А.с. 1693117 А1 (СССР), С23С 8/24. Установка для ионного азотирования/ Каплун В.Г., Пастух И.М., Силина Л.А., Леськив В.Д., Ляшенко Б.А., Цыгулев О.В. – Оpubл. 23.11.91.
48. Пат. 33410А Україна. Спосіб нанесення дискретних зносостійких покриттів / Ляшенко Б.А., Єрмолаєв В.В. – Оpubл. 15.02.2001, бюл. № 1.
49. Антонюк В.С., Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б. Выбор параметров покрытий дискретной структуры при модификации поверхности режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия.– 2005.– № 3.–С. 49-50.
50. Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б., Рутковский А.В., Липинская Н.В. Определение параметров дискретной структуры покрытий с учетом остаточных напряжений // Пробл. прочности. – 2002. -№ 4. – С.119-125.
51. Сорока О.Б. Напруженість поверхні адгезійного контакту в системі “основа-покриття” Вестник двигателестроения. – 2007. – №- С.8-10.

УДК 621.979.134

**В.І. Стеблюк¹, д-р техн.наук, проф., О.В. Холявік¹, асп., К. Лукасик², д-р
1 - НТУ України „Київський політехнічний інститут“, м.Київ, Україна
2 - Люблінська політехніка, м.Любляна, Польща**

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ВИРОБІВ

Рассмотрена вытяжка пустотелых изделий, которые не имеют осевой симметрии. Представлены результаты математического моделирования процесса вытяжки квадратных и прямоугольных изделий. На основании моделирования проведено анализ оптимальности заготовок коробчатых изделий, рассчитанных разными методами. Показано, что заготовки рассчитанные методом потенциалов являются оптимальными.

The extract of hollow products, which have no axial symmetry, is considered. Results of mathematical modeling of process of an extract of square and rectangular products are presented. On the basis of modeling it is lead the analysis of an optimality of preparations of the box-shaped products calculated by different methods. It is shown, that preparations calculated by a method of potentials are optimum.

Методику розрахунку розмірів і форми заготовок методом потенціалу швидкостей деформації наведено в публікаціях [1,2,3]. Було отримано контури заготівок для витягування відносно низьких ($H/B < 0,6 \div 0,7$) і відносно високих ($H/B > 1,0 \div 1,2$) деталей