

Зусилля і витрачена робота

Потрібне зусилля при вирубці штампа, так само як і при різанні ножицями, залежить від форми різальних крайок пуансона і матриці, які можуть бути плоскими – паралельними чи скісними – похилими.

У штампів з паралельними ріжучими кромками кут створу (нахилу) $\varphi = 0$, а кут різання $\delta = 90^\circ$ (див. мал. 14).

Технологічне зусилля вирубки в кГ (н) при роботі такими штампами визначають за формулою:

$$P = F_0 \tau_0 = ust_0$$

Де F_0 - площа зрізу в мм² (м²);

u - довжина контуру (периметр) вирубаної деталі в мм;

s - товщина матеріалу в мм;

τ_0 - опір зрізу (вирубці) в кГ/мм² (Мн/м²), отримане в лабораторних (ідеальних) умовах роботи.

Стр. 58

На опір металу зрізу - вирубці штампами впливає ряд факторів.

Фактори, пов'язані з матеріалом, формою і розмірами деталі: механічні властивості металу і глибина проникнення пуансона в метал; товщина вирубаного матеріалу; форма і розміри вирубаного контуру.

Фактори, пов'язані з конструкцією штампа: величина зазору; конструкція (форма прохідного отвору) матриці.

Умови вирубки: швидкість деформації (деформування); змащення матеріалу і інструменту; стан різальних **крайок** пуансона і матриці; ступінь твердості цих крайок та ін.

Розглянемо вплив кожного з цих факторів на величину опору вирубці τ_0 .

Опір вирубці в залежності від механічних властивостей матеріалу. Опір вирубці, що отримується в лабораторних (ідеальних) умовах, τ_0 і t_0 , складається з наступних двох доданків:

$$\tau_0 = \tau + \tau_{mp}; \quad (35)$$

$$t_0 = t + \tau_{mp}, \quad (36)$$

де τ і t , τ_0 і t_0 – умовний і справжній опір матеріалу зрізу - вирубці відповідно без урахування витрат на тертя і з урахуванням витрат на тертя в штампах;

τ_{mp} питомий опір силам тертя, що виникають на поверхні деталі (отвори) внаслідок наявності тертя матеріалу по інструменту.

Величина τ і t для більшості штампуємих (пластичних) металів (алюміній, мідь і ін.), А також стали м'якої і середньої твердості, у яких руйнування металу при вирубці відбувається шляхом зрізу, можна визначити як аналітично, користуючись енергетичною теорією пластичності, так і досвідченим шляхом в лабораторних умовах. Встановлено, що зі збільшенням міцності матеріалів (σ_B , S_B) і зменшенням пластичності (ϵ_B , φ_B , φ , i_m) опір вирубці збільшується.

Величина поглиблення пуансона в метал при вирубці в момент утворення **сколюючої** тріщин i_m може бути віднесена до показників пластичності металу, так як вона до певної міри характеризує здатність вирубуваного матеріалу до пластичних деформацій. Ця величина, таким чином, може служити характеристикою властивостей матеріалу.

Стр.59

Для кожного матеріалу при певному проміжку z поглиблення i_m є величиною постійною.

З практики відомо, що для твердих металів величина проникнення пуансона менше, ніж для м'яких металів. Вона залежить також і від товщини матеріалу: зі зменшенням товщини відносна глибина проникнення збільшується.

Таким чином, визначення величини i_m має виробляється при обліку роду матеріалу, його товщини і величини зазору.

Значення i_m для різних матеріалів наведені в табл. 4.

Значення питомої опору силами тертя τ_{mp} з деяким наближенням можна визначити як добуток радіальної напруги по поверхні зрізу вирубаного круга q_{np} на коефіцієнт тертя f_{np} , т.і.

$$\tau_{\text{mp}} = q_{\text{np}} f_{\text{np}} \quad (37)$$

Коефіцієнт f_{np} на основі наших досвідчених даних при роботі без змащення коливається в межах 0.18-0.30, в середньому $f_{\text{np}} = 0.25$.

Значення q_{np} наводяться нижче (§ 12).

Істинне опір вирубці t_0 (яке відноситься до перетину в кожен даний момент часу F) можна визначити за формулою

$$t_0 = \frac{P}{\pi d(s-i)} \quad (38)$$

Значення t_0 можна визначити також за умовними τ_0 (віднесеним до первісної площі зрізу F_0), для чого слід скористатися формулою

$$t_0 = \tau_0 \left(\frac{s}{s-i} \right) \quad (39)$$

Якщо для кожного знайденого значення t_0 визначити ступінь деформації $\varphi_{\text{вир}}$, що виражається співвідношенням

$$\varphi_{\text{вир}} = \frac{F_0 - F}{F_0} = \frac{\pi ds - \pi d(s-i)}{\pi ds} = \frac{i}{s} \quad (40)$$

то за значеннями t_0 і $\varphi_{\text{вир}}$, можна побудувати криві вирубки.

Як приклад на мал. 19 побудовані криві вирубки в умовних і дійсних координатах для різних матеріалів.

Як слідує з мал. 19, при ступенях деформації, відповідних глибині проникнення пуансона до моменту максимального зусилля, величини істинних напружень (t_0) значно більше умовних (τ_0). Отже, у розрахунках, необхідно користуватися першими.

Стр. 60

Вплив товщини матеріалу s на τ_0 . При одних і тих же механічних властивостей матеріалу зі збільшенням його товщини опір вирубці дещо зменшується. Це вплив пояснюється головним чином тим, що при вирубці товстих матеріалів створюються більш сприятливі умови для утворення зрушень, ніж при вирубці тонких матеріалів. Крім того, тонкі листи більш чутливі до дії різальних крайок штампу під час вирубки, внаслідок чого має місце більш сильне зміцнення (наклеп), ніж у товстих матеріалів.

Вплив форми та розмірів вирубаного контуру на τ_0 . На підставі ряду дослідів можна зробити висновок, що зі збільшенням розмірів вирубних деталей опір вирубці дещо зменшується. Так, наприклад, в разі вирубки зі сталі товщиною від 0,5 до 3,5 мм гуртків діаметром $d=30$ мм, буде на 2-3% більше, ніж при діаметрі $d=60$ мм.

Форма вирубуваного контуру також впливає на τ_0 . Так, при вирубці круглих деталей дотичні напруження по всьому периметру розподіляються рівномірно; при складних контурах дотичні напруження в різних ділянках його будуть неоднакові. Крім того, при некруглої формі вирубки істотну роль може зіграти і нерівномірність розподілу зазору по контуру внаслідок складності контуру, що певною мірою впливає на опір вирубці.

Тому у всіх подібних випадках для того, щоб не ускладнювати розрахункової схеми, найзручніше прийняти деяку середню величину опору вирубці. Остання буде дорівнює відношенню зусилля вирубки (P) і площі зрізу (F_0).

СТР. 61 Вплив величини зазору між матрицею та пуансоном z на τ_0 .

Величина зазору z надає істотний вплив на опір вирубці. Дослідами встановлено, що найменше (найвигідніших) зазору для кожного матеріалу і товщини (5-15% від s , для s від 1 до 10-12 мм). При крайніх значеннях зазору - негативному ($z < 0$), нульовому ($z = 0$) і досить великому ($z > 20 \div 30\% s$) опір вирубці, а з ним і загальне зусилля вирубки P стають більшими, ніж при оптимальних значеннях зазору. Пояснюється це тим, що в подібних випадках, крім дотичних напружень, з'являються додаткові напруги від тертя і вигину, внаслідок чого загальний опір вирубці, яке визначається за наведеним напрузі, збільшується на 15-20%. Звідси стає очевидною вигідність роботи при оптимальних зазору.

Зазор (або деякий інтервал Δz), при якому опір і зусилля вирубки приймають мінімальні значення, називають оптимальним, або нормальним. Для кожного матеріалу і товщини існують свої оптимальні величини зазорів.

Досвідчені криві, отримані автором (рис. 20), підтверджують викладене. Оптимальний зазор відповідає такій вирубці, при якій тріщини, що йдуть від пуансона і матриці, сходяться. При цьому опір вирубці буде мінімальним. Вторинне поступове зниження зусилля P або τ_0 при збільшенні зазору понад 20-30% від s може бути пояснено тим, що вирубка відбувається в цих випадках не тільки шляхом зрізу, а й внаслідок розтягування волокон. Останнє призводить до зменшення перерізу, що чинить опір деформації, а також до неодновременному зрізу по периметру вирубуваних заготовки, отже, і до спаду зусилля.

Робота при оптимальних зазорах характеризується не тільки мінімальним опором (і зусиллям) вирубки, а й тим, що сприяє отриманню найбільш задовільною форми поверхні зрізу і кращого співпадання розмірів вирубуваних деталі з розмірами матриці і пробивається отвори - з розмірами пуансона. Крім цього, при оптимальних зазорах стійкість штампів також більш високою.

СТР. 62 Вплив конструкції матриці (форми прохідного отвори) на τ_0 .

Найбільш поширеними є матриці, робочий отвір яких виконано у вигляді циліндричного паска, і матриці з робочим отвором у вигляді конуса.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що при вирубці деталей в матриці з циліндричним паском опір вирубці вище, ніж при вирубці в матриці з конусом. Це пояснюється тим, що у матриць другого типу є більш вільний вихід деталей з робочого отвору. Тому при вирубці деталей на провал (через отвір) з успіхом застосовують подібну конструкцію. Матриці з робочим отвором у вигляді циліндричного паска застосовують зазвичай при вирубці зі зворотним виштовхуванням деталі (нема на провал), а також для точних робіт.

Всі наведені вище висновки зроблені для вирубки при так званих нормальних умовах, тобто при нормальному зазорі, при гострих ріжучих крайках пуансона і матриці, при невеликих швидкостях деформації, при наявності мастила і ін. Однак на практиці ці умови зазвичай не витримуються, внаслідок чого опір вирубці і загальне зусилля вирубки металу зростають.

Вплив умов роботи на τ_0 . На опір вирубці також впливають швидкість деформування, мастило матеріалу і штампа, стан різальних крайок пуансона і матриці, ступінь твердості ріжучих крайок і ін.

СТР.63

Швидкість деформування. Швидкість деформування, під якою зазвичай розуміють швидкість переміщення повзуна преса, впливає на опір матеріалу вирубці. Проте точних і систематизованих відомостей в літературі з цього питання немає.

При розгляді операції різання (вирубку) на кривошипних (ексцентрикових) пресах слід мати на увазі, що швидкість руху повзуна залежить від кутової швидкості головного валу, кута повороту кривошипа і величини відношення радіуса кривошипа R до довжини шатуна L .

Процес різання металу зазвичай здійснюється в той момент, коли повзун знаходиться поблизу нижньої мертвої точки. В цьому випадку різання заготовки відбувається при мінімальному заході пуансона в матрицю, а це обумовлює отримання порівняно малих величин швидкостей різання навіть при великих числах подвійних ходів повзуна преса.

Як показала практика ряду заводів, в разі роботи на пресах з підвищеною швидкістю при нормальних умовах (хороший стан різальних крайок, оптимальний зазор і ін.) Процес різання протікає без будь-яких істотних змін.

При одночасній вирубці і витяжці, коли процес різання здійснюється не в нижній мертвій точці, а при такому куті повороту кривошипа, при якому швидкості повзуна щодо великі, необхідно враховувати поправку на опір матеріалу різанні - вирубці.

Зі збільшенням швидкості вирубки величина τ_0 зростає. При цьому вона може бути визначена за формулою

$$\tau_{0v} = \alpha_v \tau_0 \quad (41)$$

Величина швидкісного коефіцієнта α_v залежить від лінійної швидкості і ходу повзуна, а також від товщини вирубуваних заготовок.

При роботі на кривошипних (ексцентрикових) пресах з числом подвійних ходів повзуна (оборотів валу) n до 140 в хвилину, довжиною ходу $H = 50$ мм, швидкість (середня) переміщення повзуна $v_n = 0.18$ м/сек $\alpha_v = 1.06 \div 1.09$.

При роботі на швидкохідних штампувальних автоматах з числом подвійних ходів повзуна n , що доходить до 300 в хвилину, і $v_n = 0.50$ м / сек швидкісний коефіцієнт приймає значення $\alpha_v = 1.10 \div 1.12$; при $n = 300 \div 600$ об / хв і $v_n = 0.50 \div 0.75$ м / сек $\alpha_v = 1.12 \div 1.15$.

Мастило матеріалу і інструменту. Мастило при вирубці впливає на зусилля проштовхування деталі, а отже, і на зусилля вирубки і на опір вирубці.

СТР. 64

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що при роботі без змащення зусилля проштовхування зростає на 30-40% в порівнянні з зусиллям проштовхування зі змазкою. Це призводить до збільшення загального зусилля вирубки на 3-6% в порівнянні з зусиллям при роботі з мастилом.

Стан різальних крайок інструменту також змащується на величині. Експериментально встановлено, що робота з тупими ріжучими крайками інструмента вимагає більший зусиль, ніж вирубка з гострими крайками. Це пояснюється тим, що у інструменту (пуансона, матриці) з притупленими ріжучими крайками збільшується кут різання (приймаючи значення більше 90° і площа зрізу внаслідок збільшення нахилу ліній сколювання за рахунок зростання зазору. Крім того, вирубують матеріал при тупих крайках інструмента отримує можливість більше затискатися в зазорі між матрицею і пуансоном.

Зв'язок між величинами τ_0 та σ_B . Для практичних розрахунків необхідно знати співвідношення між опором вирубці τ_0 (умовним) і тимчасовим опором розриву даного матеріалу σ_B (умовним).

Експерименти, проведені автором, дають можливість зробити наступні вельми важливі для практики висновки.

1. Величина опору різання - вирубці для матеріалів товщиною від 0,50 до 4,0 мм при невеликих швидкостях деформування (0,15-0,20 мм / сек) нижче їх межі міцності.
2. Опір вирубці (при одиничній роботі) в залежності від товщини і роду матеріалу, діаметра вирубаних деталі, величини зазору, а також і від інших розглянутих вище чинників становить:

τ_0

Для сталі.....(0,75÷0,90) σ_B

- латуні Л62.....(0,65÷0,75) σ_B
- алюмінію м'якого.....(0,75÷0,90) σ_B
- алюмінію твердого.....(0,55÷0,70) σ_B
- дуралюміна м'якого.....(0,65÷0,75) σ_B
- дуралюміна твердого.....(0,60÷0,65) σ_B
- нержавіючої сталі 1X18H9 та 1X13.....(0,68÷0,72) σ_B

- титана марок ВТ1-1 і ВТ1-2..... $(0,65 \div 0,70)\sigma_B$

Верхні граничні значення слід приймати для більш тонких матеріалів (s від 0,5 до 2 мм), нижні - для більш товстих (s від 2 до 4 мм і вище).

Визначення дійсних значень опору вирубці τ_d і загального зусилля вирубки P_d . З викладеного вище видно, що в виробничих умовах, з урахуванням впливу перерахованих факторів, дійсний опір вирубці τ_d і загальне зусилля вирубки P_d будуть вище, ніж в лабораторних (ідеальних) умовах роботи. Їх значення можна визначити, скориставшись так званим диференціальним, або коефіцієнтним, методом.

СТР. 65

Як відомо, цей метод полягає в тому, що дія кожного фактора, що впливає на шукану величину, враховується деяким певним коефіцієнтом: $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3, \dots, \sigma_n$

Виробництво зазначених коефіцієнтів дає загальний коефіцієнт k, який, як показали проведені автором досліди, коливається в залежності від умовної роботи в межах 1,0-1,3. Тоді дійсне опір вирубці τ_d визначиться з виразу

$$\tau_d = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \tau_0 = k \tau_0 = (1,0 \div 1,3) \tau_0 \quad (42)$$

а дійсне зусилля вирубки (в виробничих умовах) P_p , яке приймається як розрахункове зусилля P_d , для вибору обладнання, буде

$$P_p = P_d = u s k \tau_0 = (1,0 \div 1,3) u s \tau_0 \quad (43)$$

У табл. 4 наводяться значення опору вирубці τ_0 і глибини проникнення пуансона в метал в момент досягнення максимального зусилля вирубки (появи сколюючої тріщин) i_m для різних матеріалів товщиною від 0,5 до 4 мм. Верхні межі для τ_0 відносяться до більш тонких матеріалами (s < 2 мм), нижні - до більш товстим (s від 2 до 4 мм і вище).

Помноживши τ_0 на коефіцієнт k, отримаємо значення дійсного опору вирубці τ_d .

Глибина проникнення пуансона в метал в момент його поділу i_k буде на 10-20% більше i_m .

СТР.67

§ Вирубка листового металу штампами з похилими ріжучими кромками

Процес вирубки

При вирубці (пробиванні) листового матеріалу штампами з паралельними ріжучими крайками процес різання починається одночасно по всьому периметру контуру, внаслідок чого зусилля різання може досягти досить значних величин, що перевищують зусилля, що допускається пресом.

Для полегшення умов різання, забезпечення плавної роботи преса і зменшення потрібного зусилля при вирубці застосовують штампи зі скошеними - похилими ріжучими крайками на матриці або на пуансоні.

Величину скоса матриці або пуансона H в таких штампах зазвичай приймають в межах $1-3s$, кутом скосу – нахилу φ відповідно - в межах $2-8^\circ$ ($\frac{1}{90} - \frac{4}{90} \pi$ рад).

Для матеріалів товщиною s до 3 мм приймають $H = (3 \div 2) s$, $\varphi = 5 \div 2^\circ$ ($\frac{5}{180} \div \frac{2}{180} \pi$ рад), тоді зусилля різання знижується на 45-30% в порівнянні з зусиллям різання при роботі штампами з плоскими пуансонами.

СТР. 68

Для матеріалів товщиною понад 3-4 мм беруть $H = (2 \div 1) s$, $\varphi = 8 \div 5^\circ$ ($\frac{8}{180} \div \frac{5}{180} \pi$ рад), при цьому зусилля вирубки знижується на 65-50%.

Нахил (скіс) на матриці або на пуансоні краще робити двостороннім (як і показано на рис. 21, б), так як наявність симетричного скоса з обох сторін перешкоджає виникненню бокових зусиль, що мають місце односторонньому схилі, який призводить до зарубанню різальних крайок інструменту.

СТР. 69

Тоді, використовуючи формули (19) і (20), знаходимо, що повне зусилля для першого моменту вирубки одно

$$P_{1в} = P_1' + P_1'' = 2cst_0 + \frac{4 \cdot 0.5s^2 \tau_0}{tg\varphi} = 2 \left(c + \frac{s}{tg\varphi} \right) st_0 = u_{1np} st_0 \quad (46)$$

Де u_{1np} - приведений периметр для першого моменту вирубки.

Для подальших моментів зусилля вирубки буде значно менше, воно має постійну величину

$$P_2 = P_3 = \dots = P_n = mP_1'' = \frac{m \cdot 4 \cdot 0.5s^2 \tau_0}{tg\varphi} \quad (47)$$

де кут нахилу φ береться в град.

В останню формулу введений емпіричний коефіцієнт m , що враховує вплив згинаючих сил, нерівномірність розподілу зазору і т.д. На підставі досвідчених даних автора, коефіцієнт m для матеріалів товщиною від 0,5 до 4 мм в залежності від кута нахилу φ (2° , 4° , 6° або $\frac{1}{90}$, $\frac{2}{90}$, $\frac{3}{90}$ π або рад) коливається в межах від 1,05 до 1,25.

СТР. 70

При вирубці пуансоном з похилими ріжучими крайками крім різання має місце вигин відокремлюваних решт деталі. Відокремлювану частину деталі можна розглядати як консольну балку, защемлення одним кінцем, на яку діє сил $\frac{P_{1г}}{2}$ на відстань $x = b = \frac{s}{tg\varphi}$ (рис. 22). У цьому випадку повне зусилля вирубки для перших кроків визначиться з виразу

$$P_1 = P_{1в} + P_{1г} = 2 \left(c + \frac{s}{tg\varphi} \right) s\tau_0 + \frac{1.3cs\sigma_{\varepsilon}}{3} (1,5 + \varepsilon_{\varepsilon}) tg\varphi, \quad (48)$$

де $\varepsilon_{\varepsilon}$ - відносне подовження матеріалу при розтягуванні зразка в момент початку утворення шийки.

Відзначимо що $P_{1г}$ в порівнянні з $P_{1в}$ для тонких матеріалів невелика, близько 3-5%. При практичних розрахунках (коли вводиться загальний поправочний коефіцієнт k) цим зусиллям можна пренебрати.

Очевидно, розрахунок преса слід виробляти по найбільшому зусиллю для перших кроків P_1 (що і видно з рис. 21, а) з урахуванням, як і раніше, поправочний коефіцієнт k .

Проведені автором дослідження по вирубці прямокутних деталей пуансоном і похилими ріжучими крайками показують, що в цьому випадку при куті нахилу $\varphi = 2^\circ$ ($\frac{1}{90}$ π рад) потрібне зусилля вирубки знижується на 17-25% в порівнянні з плоским пуансоном; при куті нахилу 4° ($\frac{2}{90}$ π рад) - 45-55%, а при 6° ($\frac{3}{90}$ π рад) - 55-65%. Верхні межі відповідає тонким матеріалами (товщиною до 1,5 мм), нижні - товщим (товщиною від 1,5 до 3,5 мм).

СТР.81

§ Зазори між матрицею і пуансоном при вирубці.

Під технологічним зазором розуміють позитивну або негативну різницю робочих розмірів матриці і пуансона z (рис. 28, а).

Зазор, як зазначалося вище, робить сильний вплив на величину потрібного зусилля роботи вирубки, якість поверхні зрізу, точність одержуваної деталі, знос і стійкість штампа. У більшості випадків найбільше значення на практиці має якість виробу.

СТР.82

До останнього при вирубці деталей або пробиванні отворів пред'являються часто високі вимоги. Вони зводяться до того, щоб поверхня зрізу була чистою, без рваних і тріщин, без задирок; деталь по можливості повинна бути плоскою.

Вирішальний вплив на якість вирубці (пробивання) надає величина зазору. При нормальному зазорі, як зазначалося, тріщини, що йдуть від різальних крайок пуансона і матриці, збігаються, що і сприяє утворенню поверхні зрізу без рванина, тріщин і задирок. Така поверхня показана на рис. 28, б. Верхня частина деталі має розміри, що відповідають розмірам пуансона, а нижня - матриці. Як видно з рис. 28 б, частина деталі, звернена до матриці, має характерний блискучий поясок з невеликим заокругленням в кутку; частина, звернена до пуансону, є злегка конічної і шорсткою. Бічна поверхня деталі (поверхня зрізу) виходить, таким чином, не строго вертикальної, проте за своїм виглядом цілком задовільною.

Слід зазначити, що задовільною поверхня зрізу має місце при гострих ріжучих крайках штампа навіть і при досить великих зазорах - до 30-40% від товщини.

При малому зазорі (рис. 28, в) сколювальні тріщини не збігаються, а йдуть як би паралельно на деякій відстані один від одного. При остаточному розриві метал між цими тріщинами утворює рванина і шаруватість на поверхні зрізу. В результаті цього у верхній частині деталі утворюється другий блискучий поясок з протягнутим задирок, нерівним зубчастим краєм і невеликим конусним розширенням догори.

У разі більшого зазору (рис. 28, г) при дуже тонкому матеріалі (до 1,5 мм) відбувається втягування металу в зазор між матрицею і пуансоном з подальшим обривом. Виріб при цьому виходить з рваними заусенцями, що мають вид зтягнутих країв. Дуже великі зазори (понад 40% від товщини) при вирубці більш товстих матеріалів призводять до утворення сильно закругленою крайки деталі з боку матриці і закругленою крайки отвору з боку пуансона.

На якості поверхні зрізу позначається і притуплення різальних крайок пуансона і матриці, а також нерівномірний розподіл зазору по контуру вирубки. В останньому випадку частина контуру може вийти задовільний, а інша - з задирок. Крім того, нерівномірний зазор приводить до затуплення частини різальних крайок.

Неправильний зазор і тупі ріжучі кромки штампа збільшують потрібне зусилля і роботу вирубки.

СТР. 83

Встановлення величини зазору між матрицею і пуансоном

З усього викладеного вище впливає, що зазор при вирубці є найважливішим фактором.

Величина зазору залежить від ряду параметрів, з яких основними є: механічні властивості і товщина матеріалу, а також режим роботи преса, тобто число подвійних ходів повзуна в хвилину.

Залежно від роду і товщини матеріалу величина зазору коливається в межах від 4 до 18% товщини матеріалу. При виборі зазору прагнуть до встановлення оптимальної його величини, при якій задовольняються основні чотири умови (§ 10), а саме: найменше зусилля вирубки, висока якість поверхні зрізу виробу, найбільша точність штампування і, як наслідок, найбільш висока стійкість штампа.

При використанні більш товстого матеріалу діапазон оптимальних зазорів більше, ніж тонкого. Це пов'язано з меншим впливом затуплення різальних крайок інструменту в міру його роботи на освіту задирок при вирубці товстих матеріалів. При порівняно гострих ріжучих крайках штампа тонкий матеріал також дозволяє виробляти роботу за певних інтервалах величини зазору.

Таким чином, якісна вирубка може проводитися в деякому інтервалі зазорів як для товстих, так і для тонких матеріалів. Тому доцільно встановити такі поняття:

1. Мінімальне значення оптимального зазору (для кожного матеріалу і товщини) z_{\min} при якому торцева кромка зрізу стає майже перпендикулярній до площини деталі без помітного утворення задирок;
2. Максимальне значення оптимального зазору z_{\max} , при якому поверхня зрізу залишається задовільною, хоча і не є вертикальною.

Так як у міру роботи (зносу) штампа зазор між матрицею і пуансоном збільшується, то для знову виготовленого штампа слід задавати зазор, близький до мінімального (z_{\min}). Зазори задають в залежності від роду і товщини матеріалу. Зі збільшенням твердості і товщини матеріалу величина зазору в відсотковому відношенні до товщини матеріалу збільшується.

Зазор можна визначити із залежності

$$z = ms,$$

де m - змінний коефіцієнт, що враховує рід і товщину матеріалу.

У табл. 6 наведені значення мінімальних і максимальних початкових двосторонніх зазорів для різних матеріалів при роботі на пресах з числом ходів 120-140 в хвилину. Для ножиць, а також для односторонніх відрізних штампів зазор слід брати рівним половині величин Z_{\min} .

Оптимальна величина зазору Z_{\min} при вирубці на підвищеному числі подвійних ходів преса ($n > 140$ об / хв) повинна бути збільшена в порівнянні з табличними даними приблизно в 1,5-2,0 рази.

Досвідчені дані показують, що для вуглецевої сталі товщиною до 2 мм оптимальна величина зазорів при роботі на швидкохідних пресах становить 15-20% від товщини матеріалу; при таких зазорах виходить в більш висока стійкість штампів.

Збільшення Z_{\min} забезпечує нормальний процес вирубки при підвищених швидкостях, так як в протилежному випадку буде мати місце "заїдання" пуансона в матриці, яке виходить внаслідок того, що пуансон і матриця, розігріваючи, не рівномірно збільшують свої розміри.

Встановлення напрямків зазор

Вище було відзначено, що величина вирубуваних деталі залежить від розміру матриці, а величина, що пробивається отвори - від розміру пуансона. Це дозволяє вивести правило, яке встановлює напрямки зазору в залежності від того, які розміри деталі необхідно витримати - зовнішні або внутрішні.

У разі вирубки зовнішнього контуру номінальні розміри деталі D_n надаються матриці $D_m = D_n$, а зазор z здійснюється за рахунок зменшення розмірів пуансона D_p , тобто $D_p = D_n - z$. При пробиванні отвору його розміри d_n надаються пуансону d_p , а зазор z здійснюється за рахунок збільшення розмірів матриці d_m , тобто $d_m = d_n + z$.

Розкрій листового матеріалу при штампуванні вирубці

Розкриємо матеріалу при листовому штампуванні називається спосіб розташування вирубуються деталей на заготівлі - аркуші, смузі, стрічці. Оскільки в великосерійному і масовому виробництвах випуск продукції обчислюється сотнями тисяч і навіть мільйонами штук виробів на рік, особливу увагу слід звертати на економію матеріалу, так як остання має велике народногосподарське значення.

У штамповочном виробництві економія матеріалу багато в чому визначається розкриємо - доцільним розташуванням деталей на заготівлі. Особливо важливе значення економії металу пояснюється тим, що вартість матеріалу складає приблизно 60-80% від загальної вартості виробу, в той час як вартість заробітної плати зазвичай становить лише 5-15%.

Якщо врахувати, що в середньому відходи при листовому штампуванні складають 30-40%, то кожен відсоток зменшення відходів дає можливість зменшити собівартість деталей на 0,4-0,5%.

Розкрій матеріалу, його вибір у великій мірі залежить від конструкції штампувало деталі. Звідси ясно, що питаннями економного витрачання матеріалів повинні займатися не тільки фахівці штампувального виробництва, але також і конструктори виробів. З рис. 44 видно, як в результаті конструктивного зміни деталі можна значно підвищити економію матеріалу.

Показником, що характеризує економічність розкрою, є коефіцієнт використання матеріалу η , що є відношенням корисної площі деталі F_0 до площі заготовки F_3 для виготовлення цієї деталі при вирубці, тобто

$$\eta = \frac{F_0}{F_3} \cdot 100\% \quad (85)$$

Технологічність конструкції деталі, вдале її розташування на смузі і на аркуші, мінімальна можлива величина перемички між деталями і максимальне використання відходів на інші деталі сприяють підвищенню загального коефіцієнта використання матеріалу при вирубці.

Розглянемо способи розкрою та методи підрахунку коефіцієнта використання матеріалу при вирубці деталей різної конфігурації.

СТР. 117

§18 Розкрій листового матеріалу при вирубці деталей

Розкрій листового матеріалу при вирубці круглих деталей

Вирубку круглих деталей можна робити в один, два і кілька рядів при паралельному і шаховому розташуванні їх. Круглі вироби діаметром понад 150 мм зазвичай вирубують в один ряд, при менших розмірах вигідніше штампувати в кілька рядів в шаховому порядку - багаторядний шаховий розкрій.

Коефіцієнти і використання матеріалу при паралельному розташуванні круглих деталей на смузі (стрічці) визначають з наступних залежностей (рис.45):

при однорядном розкрої

$$\eta_1 = \frac{F_{01}}{F_{31}} = \frac{0.785D^2}{(D + a_1)(D + 2a)} \cdot 100\%, \quad (86)$$

при дворядне розкрої

$$\eta_2 = \frac{F_{02}}{F_{32}} = \frac{2 \cdot 0.785D_2}{(D + a_1)(2D + 2a + a_1)} \cdot 100\%, \quad (87)$$

при n-рядном розкрої

$$\eta_2 = \frac{F_{0n}}{F_{3n}} = \frac{n \cdot 0.785D^2}{(D + a_1)[(nD + 2a + (n-1)a_1]} \cdot 100\%, \quad (88)$$

Тут D - діаметр вирубуваного гуртка;

a - величина перемички від краю смуги;

a₁ - величина перемички між вирубують кружками;

A - поздовжній крок подачі матеріалу, рівний D + a₁;

СТР. 118

n - число рядів на смузі при паралельному розкрої;

B₁, B₂,, B_n - ширина смуги при відповідному паралельному розкрої.

При шаховому розташуванні круглих деталей на смузі коефіцієнти використання матеріалу визначають за такими формулами (рис. 46):

при двухрядном шаховому розкрої

$$\eta_2 = \frac{F_{02}}{F_{32}} = \frac{2 \cdot 0.785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + (D + a_1)\cos\alpha]} \cdot 100\%, \quad (89)$$

при трирядного шаховому розкрої

$$\eta_3 = \frac{F_{03}}{F_{33}} = \frac{3 \cdot 0.785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + 2(D + a_1)\cos\alpha]} \cdot 100\%, \quad (90)$$

при n-рядном шаховому розкрої

$$\eta_n = \frac{F_{0n}}{F_{3n}} = \frac{n \cdot 0.785D^2}{(D + a_1)[(D + 2a) + (n-1)(D + a_1)\cos\alpha]} \cdot 100\%, \quad (91)$$

СТР. 119

Тут - кут прямокутного трикутника ГЕЖ; з побудови $\alpha = 30^\circ$ ($\frac{\pi}{6}$ рад), $\beta = 60^\circ$ ($\frac{\pi}{3}$ рад);

b, c, e - сторони прямокутного трикутника;

A - поздовжній крок подачі матеріалу, рівний $D + a_1$;

B - поперечний крок подачі матеріалу

$$B = b = A \cos \alpha = (D + a_1) \cos \alpha ;$$

n - число рядів на смузі при шаховому розкрої;

B_2, B_3, \dots, B_n - ширина смуги при відповідному шаховому розкрої.

З наведених формул видно, що як при паралельному, так і при шаховому розкрої зі збільшенням кількості рядів n або n' , а також діаметра вирубуваних деталей D коефіцієнт використання матеріалу η або η' збільшується.

При шаховому розкрої економія збільшується за рахунок зближення рядів. Орієнтовно в залежності від діаметра кола можна вважати, що кожен що додається ряд при паралельному розкрої дає економію від 3 до 5%; шаховий розкрій в порівнянні з паралельним дає економію матеріалу на 1,5 - 3, 0%.

Необхідно відзначити, що при вирубці круглих деталей великого діаметру з коротких смуг шаховий розкрій може виявитися менш вигідним, ніж паралельний, за рахунок втрати матеріалу у вигляді кінцевих відходів (рис. 46, а). Коефіцієнт використання матеріалу в таких випадках більш точно визначається за такою формулою:

$$\eta_n'' = \frac{nF_0}{F} = \frac{n \cdot 0.785D^2}{BL} \cdot 100\%, \quad (92)$$

Де n - число деталей в смузі;

B - ширина смуги;

L - довжина смуги.

Розкрій листового матеріалу при вирубці прямокутних і фігурних деталей

При вирубці фігурних деталей досить важко знайти раціональний спосіб їх розташування на смузі анаталітичеським шляхом, а в деяких випадках неможливо. Тому часто доводиться користуватися графічним методом. З паперу або кальки вирізують кілька шаблонів вирубуваних фігури. Потім, надавши шаблонами різне взаємне розташування, визначають необхідну площу заготовки.

Розташування фігур, при якому виходить найменший витрата матеріалу на один виріб, і визначає найвигіднішу схему розкрою.

Застосовуваний на практиці види розкрою при вирубці прямокутних і фігурних деталей можуть бути зведені до наступних основних (рис. 47): прямий; похилий; зустрічний прямий і зустрічний похилий; комбінований; багаторядний; з вирізкою перемички.

Крім того, за способом вирубки розкрій буває з перемичками і без перемичок. В останньому випадку штампування називається малоотходной і безвідходної.

На рис. 47, а, б, в показані три варіанти розкрою для вирубки однієї і тієї ж деталі. З малюнка видно, що перший варіант розкрою самий неекономічний. Другий варіант - однорядне похиле розташування - дає економію в порівнянні з першим близько 18%, третій - зустрічний (рис. 47, в) - близько 35%.

На рис. 47, г і д показані зустрічний прямий і зустрічний похилий розкрій в два ряди прямокутних деталей; економічніший останній.

На рис. 47, е показаний комбінований розкрій, коли відходи між деталями від більших заготовок або деталей 1 використовуються для виготовлення (за допомогою цього ж штампа) дрібних деталей 2 з урахуванням необхідної комплектності. Це дає відому економію металу.

На рис. 47, ж наведено багаторядний розкрій круглих шайб і шестигранних латунних гайок з перемичками і без перемичок. Цей вид розкрою набув широкого застосування в електротехнічній промисловості і в приладобудуванні.

Розкрій з вирізкою перемичок (рис. 47, е) застосовується при виготовленні дрібних і вузьких деталей типу годинникових стрілок, а також при штампуванні з відрізків від смуги деталей типу планок або скобянних виробів.

При виготовленні деталей простої конфігурації і невеликої точності (не більше 7-го класу), а також для заготовок, які будуть далі механічній обробці, застосовують безвідхідну штампування. При цьому, якщо конфігурація деталей дозволяє, рекомендується використовувати принцип двокрокового безвідходної вирубки, так як тоді якість поверхні зрізу деталі і стійкість штампа не знижуються в порівнянні з якістю поверхні, отриманої при штампуванні з перемичкою.

Як зазначалося вище, найбільш поширеною заготівлею при вирубці є смуга, що отримується зазвичай з листа. Разрезку листа на смуги потрібно виробляти з таким розрахунком, щоб від нього залишалось якомога менше відходів. При цьому необхідно враховувати, що розташувати смугу на аркуші можна і в поздовжньому і в поперечному напрямках. Питання про доцільний розкрій листа доводиться вирішувати в кожному окремому випадку, враховуючи як економію металу, так і продуктивність праці. Якщо дозволяють габаритні розміри ножиць, то найкраще розташовувати смуги уздовж довгої сторони аркуша, так як поздовжній розкрій листа завжди продуктивніше поперечного. Якщо вирубуються деталі піддаються при подальшій обробці згинанні, то необхідно рахуватися і з розташуванням осей симетрії деталей щодо напрямку прокатки листа.

СТР. 123

На рис. 50 представлені поперечний і поздовжній розкрій листа для виробки гуртків одного і того ж діаметру D .

З рис. 50, а видно, що кількість деталей n_d , одержуваних з однієї смуги при поперечному розкріі,

$$n_d = \frac{B_1 - a}{A} = \frac{B - (a + c_1)}{D + a}$$

Кількість смуг, одержуваних з листа n_n

$$n_n = \frac{L_1}{B_0} = \frac{L - m_1}{D + 2a}$$

Де c_1 та m_1 - відходи при розкріі по ширині і довжині аркуша;

a - ширина перемички по краю, яка при висновках приймається рівною a_1 ;

A - крок подачі при виробки, рівний $D + a_1$;

B_0 - ширина смуги, рівна $D + 2a$;

B_1 - ширина листа без відходу c_1 ;

L_1 - довжина без відходу m_1 ;

$B - L$ - повна ширина і повна довжина листа.

Загальна кількість деталей N_d , одержуваних з листа,

$$N_d = n_d n_n = \frac{B - (a + c_1)L - m_1}{D + a} \cdot \frac{1}{D + 2a}, \quad (93)$$

СТР. 124

Коефіцієнт використання матеріалу при поперечному розкрої листа визначитися за формулою

$$\eta_{\text{л}} = \frac{N_{\text{д}} F_{01}}{F_{\text{л}}} = \frac{N_{\text{д}} 0.785 D^2}{BL} = \frac{B - (a + c_1)L - m_1 0.785 D^2}{D + a} \frac{1}{D + 2a} \frac{1}{BL} \cdot 100\%$$

Аналогічним чином визначають $\eta'_{\text{л}}$ і при поздовжньому розкрої листа (рис. 50, б).

Кількість деталей $n_{\text{д}}$, одержуваних з смуг,

$$n_{\text{д}} = \frac{L_2 - a}{A} = \frac{L - (a + m_2)}{D + a}$$

Кількостей смуг з листа

$$n_{\text{н}} = \frac{B_2}{B_0} = \frac{B - c_2}{D + 2a}$$

Загальна кількість деталей $N_{\text{д}}$, одержуваних з листа,

$$N_{\text{д}} = n_{\text{д}} n_{\text{н}} = \frac{L - (a + m_2)}{D + a} \frac{B - c_2}{D + 2a}. \quad (95)$$

Тут c_2 і m_2 - відходи при поздовжньому розкрої по ширині і довжині аркуша B , L ;

B_2 і L_2 - ширина і довжина листа без відходів.

Коефіцієнт використання матеріалу при поздовжньому розкрої (рис. 50, б) визначається за формулою

$$\eta'_{\text{л}} = \frac{N_{\text{д}} F_{01}}{F_{\text{л}}} = \frac{N_{\text{д}} 0.785 D^2}{BL} = \frac{L - (a + m_2)}{D + a} \frac{B - c_2}{D + 2a} \frac{0.785 D^2}{BL} \cdot 100\% \quad (96)$$

Зіставляючи значення коефіцієнтів $\eta_{\text{л}}$ і $\eta'_{\text{л}}$ і з огляду на при цьому можливість раціонального використання кінцевих відходів листів для вирубки інших деталей, можна в кожному конкретному випадку вирішити питання про доцільність того чи іншого варіанту розкрою з точки зору економії металу, продуктивності праці і наявного в цеху обладнання .

Даний метод визначення коефіцієнта використання матеріалу при розкрої листа придатний і для деталей інших конфігурацій.

При вирубці великогабаритних круглих деталей, а також коли при паралельному розкрої виходять великі відходи по краях заготовки, часто економію металу вдається отримати за рахунок застосування косою розкрою смуг з листа, як показано на рис.51. Використовуючи лист шириною 800 мм замість 1000 мм при тій же довжині його 3000 мм, отримуємо коефіцієнт використання матеріалу $\eta = 0,70$ (в першому випадку він дорівнював лише 0,57).

СТР. 125

На виробництві часто застосовують груповий розкрій, коли лист розкроюють на смуги неоднаковою ширині, з яких штампують різні деталі. При груповому розкрої часто вдається мати більш високий коефіцієнт використання листа і цим заощадити метал.

При великосерійному і масовому виробництві слід прагнути замінити листовий матеріал стрічкою і широкими рулонами, так як це дозволяє отримати на вигідній розкрій матеріалу і максимально автоматизувати процеси штампування.

§ 19. Визначення величини перемички і розрахунок ширини смуги

Величина перемички робить істотний вплив на процес вирубки і якість виробів. З точки зору зусилля, необхідного для зняття матеріалу з пуансона, вигідніше працювати з можливо меншими перемичками, як це і було показано вище. Перемички, крім того, є прямою втратою матеріалу, і тому їх ширина повинна бути найменшою. Однак вона не може бути довільно мала. Перемичка повинна забезпечити достатню жорсткість і міцність стрічки при роботі з тим, щоб вона не розірвалася при подачі, що не втягнулася в матрицю, що не викликала утворення задирок і поранення рук робітника.

Перемички необхідні також для забезпечення вирубки деталі по повному контуру при неточному виготовленні заготовки і неточною подачі.

Величина перемички впливає також на стійкість штампа; при недостатній ширині перемички стійкість штампів зменшується. Спостереження і дослідження показали, що стійкість штампів при роботі з нормальними перемичками значно вище стійкості штампів при роботі без перемичок, а також при односторонній відрізки або вирубування приблизно на 50% і більше.

СТР. 127

Величина перемички в основному залежить від товщини і роду матеріалу, від розмірів і форми вирубуваних деталі, від способу подачі смуги (з боковим притиском або без нього), від типу розкрою (прямий, зустрічний, з повором смуги і т.д.), а також частково від типу упору і від наявності притиску матеріалу під час роботи.

Значення величини перемичок a і a_1 для м'якої сталі с $\sigma_b < 30$ кг / мм (< 300 Мн / м²) наведені табл.9.

Для інших матеріалів табличні значення перемичок слід помножити на коефіцієнт рівний:

Для сталі твердою	0,8-0,9
❖	бронзи катаної і латуні 1,0-1,2
❖	дуралюміна 1,0-1,2
❖	міді і алюмінію 1,2-1,3
❖	магнієвих сплавів 1,5-2,0
❖	титанових сплавів BT1 без підігріву і BT5 з підігрівом 1,2-1,3
❖	титанового сплаву BT5 без підігріву 1,5-2,0
❖	неметалічних матеріалів (шкіра, паперу, картон та ін.).....1,5-2,0

При штампуванні зі смуги з поворотом значення a і a_1 слід збільшити на 30%.

При наявності бічного притиску смуги і точної подачі в штампах з боковим ножами, а також при автоматичній подачі валками і кліщами допускається застосування менших перемичок, в порівнянні з табличними, на 20%.

При вирубці на пластинчастих штампах при $s < 3$ мм значення a і a_1 слід збільшити в 1,5-2 рази.

Після того як встановлено розташування деталей і величина перемички, визначають ширину смуги (стрічки). Підрахунок номінальної ширини смуги B і просвіту між лінійками вирубного штампа $B_{шт}$ проводиться за наступними формулами:

при роботі на штампа з боковим притиском смуги

$$B = D + 2a + \Delta_{шт} \text{ и } B_{шт} = B + b_0 = D + 2a + \Delta_{шт} + b_0; \quad (97)$$

при роботі на штампі без бокового притиску смуги

$$B = D + 2(a + \Delta_{\text{ш}}) + b_0 \text{ и } B_{\text{шт}} = B + b_0 = D + 2(a + \Delta_{\text{ш}} + b_0) \quad (98)$$

Стр. 128

де D-розмір вирубуваних деталі (в напрямку, поперечному до подачі);

a - найменша величина бічний перемички (береться за табл.9);

$\Delta_{\text{ш}}$ - односторонній ("мінусовий") допуск на ширину смуги, рівний $\frac{\Delta_{\text{п}}}{2}$;

b_0 - гарантійний зазор між напрямними лінійками і найбільшою можливою шириною смуги.

Допуск на ширину для стандартних смуг і стрічок $\Delta_{\text{п}}$ ("мінусові") приймаються за відповідними ГОСТами для даного матеріалу; допуски ("мінусові") на ширину смуг довжиною до 1 м, нарізаних з листа на гільйотинних ножицях, залежать від товщини s і ширини B смуги і складають:

s в мм	B в мм	$\Delta_{\text{п}}$ в мм
до 1	До 100.....	0,4-0,5
>>1	От 100 до 300.....	0,6-0,8
От 1 до 3	До 100.....	0,5-0,8
>>1>> 3	От 100 до 300.....	0,7-1,1
>> 3 >>5	До 100.....,0.....	0,9-1,1
>>3 >>5	От 100 до 300.....	1,2-1,4

Величина гарантійного зазору b_0 при штампуванні без бокового притиску смуги становить: для однорядного розкрою 0,5-1,0 мм при ширині до 100 мм і 1,0-1,5 мм при ширині понад 100 мм; при зустрічному розкрої b_0 відповідно дорівнює 1,5-2,0 і 2-3 мм.

Процес витяжки листового матеріалу

Витяжкою в листовому штампуванні називається процес перетворення плоскої або порожнистої заготовки у відкрите зверху порожнисте виріб, який здійснюється за допомогою витяжних штампів.

Витяжку виробів з тонколистового металу в більшості випадків роблять у холодному стані. Витяжку з товстолистового металу, а також з малопластичних металів (наприклад, з магневих сплавів) здійснюють при нагріванні заготовки.

В даний час витяжкою виготовляють всілякі вироби: деталі автомобілів, тракторів, літаків, електричних машин, різних приладів і апаратів, годинникових механізмів, предметів народного споживання (каструлі, бідони, чайники і т.д.), різні кожухи, цоколі електричних і радіоламп і ряд інших виробів металопромисловості.

§ 28. Характеристика витяжних операцій

Порожні деталі виходячи з форми і технологічних особливостей листового штампування можна розділити на кілька основних груп:

- 1) деталі, що мають форму тіла обертання;
- 2) деталі коробчатої форми;
- 3) деталі складної форми.

До першої групи входять деталі, що мають форму циліндричну, ступінчасту, конічну, криволінійну, а також деталі з місцевим розширенням (випинання) або звуженням. Деталі цієї групи можуть бути з фланцем або без фланця, з плоским або з фасонним дном. На рис. 66, а-д наведено кілька прикладів подібних деталей.

Деталі коробчатої форми можуть мати квадратні, прямокутні, криволінійні бічні стінки з фланцем або без фланця; дно у них може бути плоске або фасонне (рис. 66, е-з).

Деталі усталеною нормою можуть бути полусімметричні, що мають тільки одну площину симетрії (корпус і дах кабіни автомобіля, рис. 66, і), і несиметричні (крило автомобіля, рис. 66, к).

Залежно від форми деталі заготовка піддається або витяжці, або витяжці в поєднанні з формуванням, гнучкою і обтиском або з відбортовкою.

За характером деформації розрізняють: 1) витяжку без стоншення стінок; 2) витяжку з утоненням (протяжка).

Стр. 159

У першому випадку витяжка відбувається без заздалегідь зумовленого зміни товщини матеріалу стінок виробів; у другому ж випадку процес витяжки здійснюється за рахунок зміни поперечного перерізу - зменшення діаметру і товщини стінок виробів.

Витяжка без стоншення стінок є найбільш поширеним способом виготовлення різних деталей; витяжка ж з утоненням застосовується головним чином при штампуванні радіаторних трубок, сильфонів, гільз, кришок до авторучок і автокарандаш.

Витяжку виробляють на кривошипних пресах подвійного і потрійного дії, кулісних пресах подвійної дії з рухомим нижнім столом, кривошипних пресах простого дії (одноходових) з пневматичним або гідропневматичним пристроєм (подушкою), а також на гідравлічних пресах простого і подвійного дії.

Особливу групу складають операції обтягування - отримання порожнистих деталей криволінійної форми шляхом розтягування матеріалу і обтягування його навколо спеціального обтяжних шаблону (бовдура). Процес обтягування застосовується при штампуванні деталей великих розмірів, що мають невелику

глибину і плавну кривизну в двох взаємно перпендикулярних перетинах (рис. 66, л). Обтягування проводиться на спеціальних обтяжних гідравлічних пресах.

Основним робочим інструментом для витяжки (рис. 67, а) є матриця або витяжний кільце 1 із закругленою верхньою кромкою а й циліндричний пуансон 2 із закругленою нижньою кромкою б. При опусканні пуансона 2 плоский кружок - заготовки 3 витягується, проштовхується пуансоном через матрицю і перетворюється в порожній циліндр 4 (рис. 67, а і в).

При втягуванні **гуртка** 3 діаметром D з листового матеріалу товщиною s в матрицю 1, що має менший діаметр d , по краю витягається ковпака можливе утворення складок (рис. 67, а). Це явище має місце внаслідок наявності в заготівлі - плоскому гуртку надлишкового матеріалу або так званих характеристичних (надлишкових) трикутників b, b_1, b_2, \dots, b_n (рис. 67, б), так як для освіти полого ковпака діаметром d і висотою h досить було б мати заготовку діаметром D , без заштрихованих ділянок. Наявність надлишкових трикутників призводить до необхідності витіснення і переміщення металу при витяжці.

Освіта складок викликається напружено-деформованим стан металу, що призводить при певних геометричних співвідношеннях до втрати стійкості заготівлі (рис. 67, а).

Розрізняють два способи витяжки.

Перший спосіб-витяжка без притиску матеріалу з застосуванням простого витяжного штампа, що складається з матриці і пуансона (рис. 67, а і в). Цей спосіб застосовується для отримання неглибоких судин або виробів з товстою стінкою, коли складки майже не утворюються. На рис. 67, в показана схема другої операції витяжки без притиску.

Другий спосіб - витяжка з притиском матеріалу. У цьому випадку (рис. 68) крім пуансона 2 і матриці 1 застосовують ще притиск 3 або складкодержатель, який притискає фланець заготовки до матриці таким чином, що матеріал не має можливості утворити складки, а змушений переміщатися під тиском пуансона в радіальному напрямку.

На рис. 68, а показана схема першої операції витяжки з притиском з плоскою заготовки - гуртка; на рис. 68, б - другий операції витяжки з попередньо витягнутого ковпака.

СТР. 195

Глава 10

Визначення розмірів і форми заготовки при витяжці

Для визначення розмірів заготовки при витяжці виходять з основного закону обробки тиском: вага () і обсяг () матеріалу після витяжки - готового виробу. Правильний вибір форми і розмірів заготовки при витяжці дає можливість максимально підвищити коефіцієнт використання матеріалу і раціонально побудувати технологічний процес штампування.

§ 36. Методи визначення розмірів заготовки при витяжці порожнистих тіл обертання

Для визначення розмірів плоскої заготовки при витяжці порожнистих тіл існує п'ять методів.

Аналітичні методи: метод рівності поверхонь; метод рівності обсягів; метод рівності ваг.

Графічні методи: графо-аналітичний метод; графічний метод.

Розглянемо коротко кожен з цих методів.

Аналітичні методи

Метод рівності поверхонь. Цим методом можна користуватися лише при нормальному процесі витяжки без стоншення матеріалу, тобто при $s' = s$ (вважаючи, що середня товщина стінки s' дорівнює товщині заготовки s) і $F' = F$. Площа заготовки F уявляє собою площу заготовочного гуртка.

Стр. 196

Площа виробу F' в разі тонкого листового матеріалу (s до 1.5 мм) являє собою поверхню циліндра, нараховану по внутрішньому діаметру і зовнішньої висоті, або по зовнішньому діаметру і по внутрішній висоті (включаючи площу дна). При порівняно товстому матеріалі поверхню циліндра повинна обчислюватися не по зовнішньому, а по середньому діаметру.

Розрахунок заготовки за методом рівності поверхонь найбільш поширений в листовому штампуванні.

Визначення діаметра заготовки при витяжці порожнистих тіл обертання простої форми. Розглянемо спосіб визначення розмірів заготовки при витяжці полого циліндра, у якого дно і стінки мають однакову товщину і умовно пов'язані під прямим кутом. Розглядається виріб можна уявити що складається з двох простих елементів: циліндра без дна і дна (рис. 88).

Як видно з рис. 88,

$$F' = F_{\text{д}} + F_{\text{д}} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} + \pi d_{\text{ср}}(h + h') = F = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (239)$$

Звідки

$$D = \sqrt{d_{\text{ср}}^2 + 4d_{\text{ср}}(h + h')} = \sqrt{d_{\text{ср}}^2 + 4d_{\text{ср}}H'}, \quad (230)$$

де h - внутрішня висота циліндра;

h' - припуск на підрізування краю стінки циліндра.

Якщо тіло складається з n простих поверхонь (F_1, F_2, \dots, F_n), то, користуючись цим методом, можна визначити діаметр заготовки із залежності

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = F' = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (231)$$

Стр.197

звідки

$$D^2 = \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i \quad \text{або} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n F_i} \quad (232)$$

Величина припуску на підрізування краю циліндра h' при витяжці без утонення може бути різною в залежності від роду товщини матеріалу, форми і висоти виробу, а також істотно змінюється в залежності від відносної висоти $R_{ц} = h / d$.

Для відносини h / d , що змінюються від 0,5 до 4,0, припуск h' визначають з наступних залежностей:

h в мм	h' в мм
10-50.....	1-4
50-100.....	2-6
100-200.....	3-10
200-300.....	5-12

При витяжці порожнистих циліндрів з фланцем, а також при багатоопераційної витяжці в стрічці, коли деталі також мають фланець, припуск на підрізування фланця а встановлюють залежно від товщини матеріалу s і від діаметра фланця $d_{ф}$ або від відносної його величини $(R_{ф} = \frac{d_{ф}}{d})$ із залежності

$$a = a' a'' s. \quad (233)$$

Тут a' - коефіцієнт, який визначається з табл. 17;

a'' - коефіцієнт, що враховує припуск в залежності від діаметра фланця, що дорівнює:

$d_{ф}$ в мм	a''
До 30.....	1,0
От 30 до 50.....	1,3
>>50>>100.....	1,8
>>100>>250.....	2,5

Стр. 198

Визначення діаметра заготовки при витяжці порожнистих тіл обертання довільної складної форми.

У давні випадку розмір заготовки найлегше визначити, користуючись відомим правилом, згідно з яким поверхня тіла обертання F' , утвореного кривою довільної форми $AB = L$ (рис. 89) при обертанні її навколо осі uu , визначається твором довжини окружності, описаної центром ваги s утворює кривої $2\pi x$, на довжину останньої L , тобто

$$F' = 2\pi xL. (234)$$

Розглянемо випадок визначення розміру заготовки для циліндра, у якого дно і стінки бічної поверхні пов'язані з сферичної поверх (рис. 90). Це тіло можна розглядати як що складається з трьох елементів: циліндра (без дна), поверхні, утвореної обертанням закругленого ділянки навколо осі виробу, і дна.

Виходячи з умови рівності поверхонь і використовуючи позначення і геометричні співвідношення, приведені на рис. 90, можна написати

$$F' = F_D + F_6 + F_{сф} = \frac{\pi d_0^2}{4} + d_{ср}(h_0 + h') + \frac{2\pi r_{ср} d_{ср} + d_0}{4 \cdot 2} \pi = F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (235)$$

СТР.199

Звідки

$$D = \sqrt{d_0^2 + 4d_{ср}(h_0 + h') + \pi r_{ср}^2 (d_{ср} + d_0)}. \quad (236)$$

Вираз для сферичної поверхні F наближене, але для практичних цілей цілком прийнятно.

Якщо при підрахунку F центр ваги дуги сферичної частини тіла визначити більш точно, то діаметр заготовки знайдеться з виразу

$$D = \sqrt{d_0^2 + 4d_{ср}(h_0 + h') + 2\pi r_{ср}^2 d_0 + 8r_{ср}^2} \quad (237)$$

Однак це уточнення не перевищує 1-2%.

Метод рівності обсягів. Цим методом доводиться користуватися при витяжці з утоненням матеріалу, коли товщина бічних стінок відрізняється від товщини дна і вихідної заготовки, так як при $s' \neq s$ і $F' \neq F$.

При витяжці полого циліндра, у якого дно і бічні стінки мають різну товщину і умовно пов'язані під прямим кутом (рис. 88, при $s' < s$), виходячи з умови рівності обсягів $V' = V$, маємо

$$V' = V_D + V_6 = \frac{\pi d_{ср}^2}{4} s + \pi d_{ср}(h + h')s' = V = \frac{\pi D^2}{4} s \quad (238)$$

звідки

$$D = \sqrt{d_{ср}^2 + 4d_{ср}(h + h') \frac{s'}{s}} \quad (239)$$

Аналогічним чином проводиться визначення розміру заготовки, коли дно і бічні стінки циліндра мають різну товщину і пов'язані з сферичної поверхні.

Величина відходів при обрізку витягнутих порожнистих циліндрів з утоненням стінок залежить від роду і товщини матеріалу, числа операцій і відносної висоти h / d . Орієнтовно можна вважати, що при ставленні h / d , що змінюється від 2 до 10, відходів становить від 8 до 12% обсягу деталі, при великих відносинах - від 12 до 15%.

Розміри заготовки для витяжки полого тіла обертання, утвореного із довільного числа простих обсягів (V_1, V_2, \dots, V_n), визначається з рівнянь

$$V = \frac{\pi D^2}{4} s = V' = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i \quad (240)$$

СТР. 200

звідки

$$D^2 = \frac{4}{\pi s} \sum_{i=1}^n V_i \quad \text{або} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi s} \sum_{i=1}^n V_i} \quad (241)$$

Метод рівності ваг.

При наявності готового зразка виробу простіше визначити діаметр заготовки з умови рівності ваг, а саме:

$$G' = G = V_\gamma = \frac{\pi D^2}{4} s \gamma \quad (242)$$

звідки

$$D = \sqrt{\frac{4G'}{\pi s \gamma}} = \sqrt{\frac{1.28G'}{s \gamma}} = 1.1284 \sqrt{\frac{G' s}{s \gamma}} \quad (243)$$

де D - діаметр заготовки в см;

s - товщина матеріалу в см;

G' - вага виробу в г;

γ - питома вага в $\text{г} / \text{см}^3$.

На практиці для складних порожнистих тіл обертання ці методи часто не застосовуються, так як рішення складних рівнянь досить важко і вимагає витрати значного часу. У подібних випадках краще користуватися графо-аналітичним або графічним методом визначення розмірів заготовки.

§37. Визначення розмірів і форми заготовки при витяжці квадрат, прямокутних коробок і деталей складної конфігурації

При витяжці виробів прямокутного обриси заготівля також має форму прямокутника зі зрізаними по кривій кутами або в деяких випадках при витяжці високих коробок форму еліпса або овалу. Для знаходження форми і розмірів заготовки тут користуються графо-аналітичним методом, виходячи з таких основних положень.

1. Площа заготовки повинна бути дорівнює поверхні відштампованої деталі з урахуванням також припуску на підрізування крайок.

2. Отримання в результаті підрахунку і графічної побудови переривчастий контур заготовки повинен бути відкоректований таким чином, щоб заготовка мала плавний контур без різких переходів, причому прибавляємо і зменшуємо для цього площі повинні бути рівні між собою. Надмірний надлишок металу в кутах коробки призводить до утворення складок, рванин і тріщин; при нестачі металу виходить неповна висота коробки в кутах, часто з виїмками у верхнього її краю.

Слід також враховувати, що при витяжці коробок, особливо високих, деякий обсяг металу переміщується з кутового ділянки на прямі їх стінки. Тому при визначенні розмірів і форми заготовки слід розрізняти низькі або високі коробки, без фланця або з фланцем, в залежності від чого методика розрахунку буде різна.

Низькими прямокутними коробками зазвичай вважають такі, які витягають за одну операцію (приблизно при $h = 0.3B$).

Найбільша висота їх h залежить від ширини коробки B , відносного радіуса заокруглення в кутах і у дна $\frac{r}{B}$ і від відносної товщини $\frac{s}{D}100$. Для м'якої сталі найбільша висота коробок без фланця, витягаються за одну операцію, приблизно становить:

$$h = 0.30 \div 0.55B \text{ при } r = 0.05 \div 0.10B$$

$$h = 0.70 \div 1.00B \text{ при } r = 0.20 \div 0.30 B$$

Стр.204

Менші значення відповідають $\frac{s}{D}100 = 0,1 \div 0,3$, а великі - $\frac{s}{D}100 = 1,5 \div 2,0$.

При визначенні розмірів і форми заготовки для витяжки подібних коробок можна вважати, що витяжка відбувається лише в кутах, а прямі бічні стінки просто відгинаються. Тому прямі бічні стінки розгортають, як при згинанні, а кути визначають, як при витяжці, і потім отриману ступенчатість контуру заготовки в кутах усувають, створюючи плавний їх перехід до прямих стінок.

При цьому розрізняють два випадки витяжки.

1. Коробка має закруглені кути, а сполучення бічних стінок з дном проводиться умовно під прямим кутом (рис. 93, а).

2. Коробка має закруглені кути і заокруглене сполучення стінок з дном (рис. 93, б). Контур дна має форму прямокутника або квадрата.

Для першого випадку діаметр заготовки для витяжки кутів визначають за формулою (230), а для другого - за формулами (236) і (237).

Контур заготовки (за способом Б.І.Звороно) можна побудувати в наступному порядку.

1. Визначають довжину відгинати частини L , включаючи закруглення у дна.

2. Знаходять центр ділянки тіла обертання O і через нього проводять взаємно перпендикулярні прямі Ob і Od , потім з центру O проводять дугу радіусом r_0 , що обмежує плоску частину дна тіла обертання, і дугу радіусом R_3 .

3. Проводять лінії, що обмежують прямолінійну частину заготовки, на відстані $L + r_0$ від центру O .

Стр. 205

4. Відрізки ab і cd ділять навпіл і проводять дотичні до кола.

5. Кути між дотичними і прямими стінками заокруглені радіусом R_3 .

Отриманий контур (показаний на рис. 93, б жирною лінією) і являє собою контур заготовки для одного кута.

При такій побудові, як це видно з рис. 93, прибавляемая площа (+ f) дорівнює збавляти площі (- f) і, крім того, тут соблюжається умова плавності переходів в кутах заготовки.

Для квадратної коробки з закругленими кутами наближений розмір (діаметр) заготовки визначають із залежності $R_3 = \frac{B}{2} + h$, описуючи коло радіуса R з середини квадрата плоского дна виробу.

Процес витяжки високих прямокутних і квадратних коробок, одержуваних за кілька послідовних операцій, є більш складним, ніж витяжки низьких коробок, так як в ньому беруть участь не тільки кути, а й бічні стінки і тому схема перерозподілу металу буде інша.

Заготівлею при витяжці високих квадратних коробок ($h \geq 0.6 B$) буде коло (рис. 94, а), діаметр якого визначається з рівності сумарної площі елементів готового виробу і площі заготовки за формулою

$$D_3 = 2R_3 = 2R_b = 2b \sqrt{\frac{1}{\pi} + \frac{4H}{\pi B} + \frac{R^2}{b^2}} = 2bN \quad (250)$$

Стр.206

Де

$$H = h + 0.57r \quad \text{та} \quad R = \sqrt{2rh}.$$

На рис. 94, а відсікати від прямих стінок площа f_1 дорівнює що додається до розгортці кута закруглення площі f_2 ($f_3 \approx f_1$).

При витяжці високих прямокутних коробок ($h \geq 0.5B$) заготовля має овальну форму, контур якої можна побудувати двома радіусами R_a і R_b (рис. 94, б). Радіус R_b визначають за формулою (250), а R_a знаходять підбором з такого розрахунку, щоб дуга окружності, описуваної їм, проходила через точку C і сполучалася з колами радіуса R_b . На рис. 94, б також відсікає площа f_1 дорівнює що додається f_2 ($f_3 = f_4 = f_1$); а й b - розміри плоскої частини дна коробки.

На практиці форму заготовки дещо спрощують: беруть прямокутник зі зрізаними кутами і плавним їх заокруглення.

Для розрахунку числа операцій коефіцієнт витяжки визначають з "умовного" радіуса $R_y = R_b - 0.7b$.

У разі витяжки високих прямокутних коробок із співвідношенням сторін $A: B = 1,00 \div 1,15$ (наближаються до квадратних) заготовля може бути круглої. Для вузьких високих коробок форма заготовки виходить у вигляді ромба із закругленими радіусом R_a кутами.

При витяжці квадратних і прямокутних коробок з фланцем методика розрахунку і побудови форми заготовки така ж, як і для коробок без фланців, але значення H і R в подкоренного вираженні формулою (250) слід визначати з наступних залежностей:

$$H = h + 0.57(r + r_\phi) + l \quad (251)$$

$$R = \sqrt{2rh + 2(r + r_\phi)(l + 0.57r_\phi) + l^2}, \quad (252)$$

де r - радіус кутового заокруглення у дна коробки;

r_ϕ - радіус заокруглення у фланця;

L - ширина плоскої частини фланця.

Величину припуску на обрізку крайок у прямокутних коробок без фланців h_{cp} так само, як і у циліндричних порожнистих тіл, приймають головним чином в залежності від відносної висоти $\frac{h}{r}$ (тут h - висота виробу за кресленням): при $\frac{h}{r} = 3 \div 25$ $h_{\text{np}} = (0.03 \div 0.06) h$; при $\frac{h}{r} = 25 \div 100$ $h_{\text{np}} = (0.06 \div 0.10) h$.

Припуск на обрізку прямокутних коробок з фланцем беруть приблизно в межах 3-6% від поверхні витягається виробу.

стр.207

Спосіб визначення розмірів і форми заготовки для деталей з будь-яким обрисом в плані полягає в розбивці його на ряд простих елементів, графічному визначенні розгортки і розмірів заготовки для цих елементів, побудові на цій підставі загальної заготівлі і плавному заокругленні її кутів з тим розрахунком, щоб площі збавляти і додаються ділянок були однаковими [55; 84]. При витяжці деталей досить складної форми розміри заготовки визначають шляхом виготовлення зліпка готової деталі з грубої марлі, просоченої воском, товщиною 2-3 мм. Поступово розправляючи воскової зліпок, можна по ньому встановити як проміжні форми матриць витяжних штампів, так і форму плоскої заготовки, по якій виготовляють вирубний штамп.