

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТРЕЗКИ МЕТАЛА ПРИ КРОМКООБРАЗОВАНИИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПОД СВАРКУ

В работе выполнено экспериментальное исследование полей скоростей в зоне деформации при отрезке металла при кромкообразовании листовой заготовки под сварку.

Ключевые слова: отрезка, поля скоростей, зоны пластической деформации, эпюры давлений.

Введение. Разделка скосов и снятие фасок перед сваркой делаются для того, чтобы получить шов, имеющий не менее 80% прочности целой детали. Однако для реализации технологии обработки кромок с применением специальных штампов и прессового оборудования является проблема стойкости штампового инструмента. Путь решения этой проблемы только один – изготовление штампов из более прочных и износостойких материалов, например твердых сплавов на основе карбидов вольфрама и титана.

Переход к твердосплавным штампам является сложной и многогранной проблемой. Трудности внедрения твердосплавных разделительных штампов усугубляются недостаточной разработкой теории процесса резки штампами. Высокая износостойкость режущей части твердосплавных матриц и пуансонов является необходимым, но недостаточным условием нормальной их работы. Режущие кромки инструмента должны быть также и прочными.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Большинство твердосплавных отрезных штампов выходит из строя вследствие хрупкого разрушения – скалывания режущих кромок матриц и пуансонов. Поэтому изучение хрупкого разрушения режущих кромок штампового инструмента в процессе отрезки при кромкообразовании листовой заготовки является весьма актуальной задачей.

Значительный вклад в анализ и обоснование надежных технологических процессов холодной штамповки и в их интенсификацию внесли такие учёные, как С.И. Губкин, В.П. Унксов, В.В. Сторожев, Р.В. Пихтовников, Л.А. Шофман, Е.А. Попов, И.А. Норицын, Е.А. Исаченков и др. [1–5],

Постановка задач исследований. Остаются нерешенными ряд задач, связанных с определением напряжений, возникающих в режущей части матриц и пуансонов при кромкообразовании листовой заготовки под сварку.

При теоретическом исследовании процесса резки исходным параметром служило поле скоростей течения частиц металла в зоне деформации. Основной целью экспериментального исследования была проверка верности предположения о характере зависимости скорости движения частиц вырезаемого металла от координат, а также определение действительных размеров очага пластической деформации.

Для количественной оценки полученных формул путём сравнения экспериментального усилия отрезки с теоретическим, полученным как интегральная сумма нормальных давлений на контактную торцовую поверхность, строили диаграммы истинных напряжений (кривые упрочнения) [6].

Материал и результаты исследований. При экспериментальных исследованиях использовались несколько методов. Для определения размеров очага пластической деформации и для определения теоретического поля скоростей течения частиц металла в зоне деформации применялся метод координатной сетки. На рис. 1 показаны деформированные составные заготовки с координатной сеткой, нанесенной в осевой плоскости.

Сопоставление координатных сеток, нанесенных на стальные, медные, алюминиевые и свинцовые образцы, показало, что характер их искажения при деформации мало зависит от рода материала.

По искажению координатных сеток делалось предположение о характере зависимости скорости движения частиц отрезаемого металла от координат. Искажение координатной сетки, а также величина пояска смятия на торцевой контактной поверхности определяли размеры очага деформации.

Экспериментально выявленные границы пластической зоны в известной мере условны. В связи с несовершенством техники измерения, неравномерностью деформации, неоднородностью механических свойств деформируемой заготовки и другими факторами надежно фиксировать малые приращения деформации весьма затруднительно.

Для более точного представления о характере движения частиц деформируемого металла образцы фотографировались, что позволяло наблюдать искажение координатной сетки при многократном увеличении (рис. 2).

Для качественного определения характера распределения нормальных напряжений по торцевой контактной поверхности отрезаемого металла (по пояску смятия) для медных образцов применялся метод измерения твердости. Распределение микротвердости по ширине пояска смятия вырезанной медной заготовки представлено на рис. 3. Учитывая большую трудоемкость определения микротвердости, связанную с подготовкой поверхности измеряемого образца, исследования с медными тарировочными образцами не проводились.

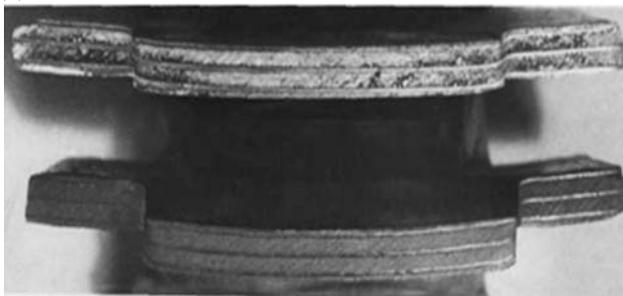


Рисунок 1 – Алюминиевый и медный деформированные составные образцы с координатной сеткой

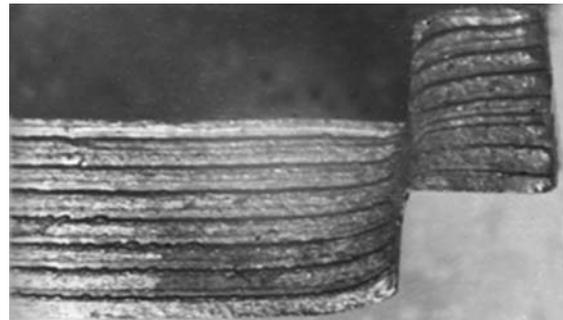


Рисунок 2 – Искажение координатной сетки при отрезке

Экспериментальные исследования по определению характера распределения нормальных напряжений по ширине пояска смятия проводились на стальных образцах толщиной 7,5 мм.

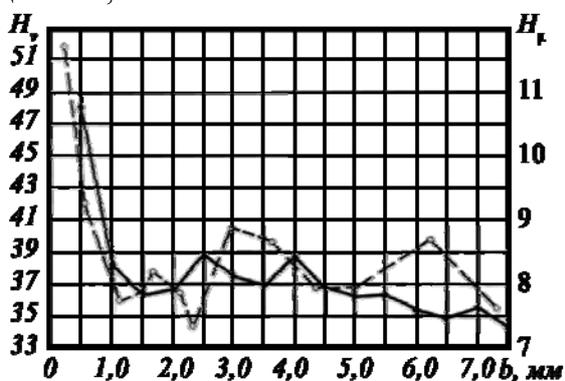


Рисунок 3 – Распределение твердости по ширине пояска смятия отрезанной медной заготовки толщиной $h = 12$ мм: — измерение микротвердости; -- измерение твердости по

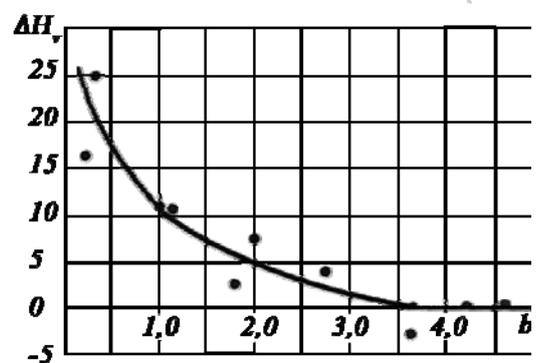


Рисунок 4 – График распределения изменения твердости по ширине пояска смятия отрезанной стальной заготовки

Исходя из требований чистоты поверхности образцов при замере твердости по Викерсу, заготовки предварительно шлифовались с двух сторон с последующей доводкой на мелкозернистой наждачной бумаге и полировкой. Перед вырубкой измерялась твердость в 5...7 точках каждого образца на приборе ТП-2 при нагрузке $P = 100$ Н. Вырубка осуществлялась в штампе с рабочим размером пуансона диаметром 20 мм, после чего измерялась твердость по пояску смятия на том же приборе. Расстояние от режущей кромки до центра каждой лунки определялось на большом инструментальном микроскопе с точностью 0,005 мм. Чтобы исключить влияние неоднородности структуры, имеющейся до деформации при исследовании пользовались не абсолютной величиной твердости, а её изменением, т.е. разностью полученных величин твердости после деформации и средней величиной твердости до деформаций. Строился график распределения изменения твердости по ширине пояска смятия «b» (рис. 4). Характер кривой брался также с учётом распределения твердости на медных заготовках.

Для перехода от кривой распределения твердости по ширине пояска смятия к характеру кривой распределения нормальных напряжений использовались тарировочные образцы, которые изготавливались в виде колец (рис. 5) с размерами диаметров 20 мм и 28 мм и высотой 7,5 мм, т.е. тарировочный образец представлял собой пластически-деформируемый объём при вырубке. Также как и заготовки для вырубке тарировочные образцы шлифовались с двух сторон с последующей полировкой. Каждый образец нумеровался и замерялась его твердость, после чего все образцы осаживались между плоскими бойками на универсальной испытательной машине УИМ-50 на различную высоту. Рабочие поверхности бойков также полировались.

По результатам испытаний строили график «давление (σ) - деформация (ϵ)», а после замера твердости осажённых образцов строился график "изменение твердости (ΔHv) - деформация (ϵ)". Стоит отметить, что влияние имеющейся до деформаций неоднородной структуры по площади образца, а также погрешности самого процесса измерения твердости, усугубляющиеся недостаточной чистотой поверхности образцов после деформации, дают значительный разброс точек на диаграмме. Однако характер расположения точек на диаграмме позволяет сделать заключение о линейной зависимости изменения твердости от деформации. Путем обработки данных и их преобразования по способу наименьших квадратов [7], получили характер распределения нормальных давлений по ширине пояска смятия (рис. 6).

Необходимо отметить, что хотя метод твердости дает только приближенные качественные указания на распределение деформаций (главным образом) и напряжений, полученный экспериментально характер распределения нормальных напряжений по ширине пояска смятия согласуется с теоретическими и экспериментальными работами других исследователей [8, 9].



Рисунок 5 – Тарировочные стальные образцы

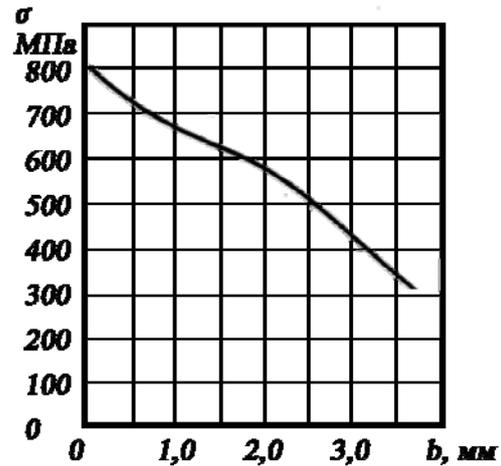


Рисунок 6 – Характер распределения нормальных давлений по ширине пояска смятия, вырезанного стального образца толщиной $h = 7,5$ мм

Теоретически подсчитанные перемещения точек деформируемой зоны при отрезке накладывались на искажение координатной сетки разрезанного образца. Сравнение деформированных зон, обусловленных теоретическими полями скоростей (1) и (2), с искажением координатной сетки при отрезке, полученным экспериментально, показано на рис. 7.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x = U_0 - \frac{5V_0}{b^5} \left(x - \frac{2x^2}{h} + \frac{4x^3}{3h^2} \right) y^4, \\ V_y = \frac{V_0}{b^5} \left(1 - \frac{4x}{h} + \frac{4x^2}{h^2} \right) y^5 \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x = U_0 - \frac{5V_0}{b^5} xy^4, \\ V_y = \frac{V_0}{b^5} y^5 \end{array} \right. \quad (2)$$

где U_0 – скорость перемещения рабочего инструмента.

Как видно из рисунка, деформированная зона при отрезке сравнительно точно описывается теоретическими полями скоростей. Экспериментальные исследования показывают, что составляющая поля скоростей V_y является функциональной зависимостью координат высшего порядка. Точно установить эту зависимость не представилось возможным.

Из рис. 7 видно, что хотя поле скоростей по формуле (1) и более точно описывает составляющую скорость V_y , чем поле, описанное по формуле (2), однако последнее более точно описывает составляющую скорости V_x . Поэтому можно считать оправданным при теоретическом исследовании процесса отрезки использование поля скоростей по формуле (2).

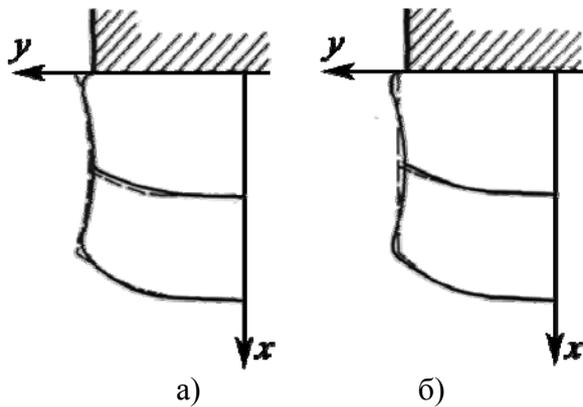


Рисунок 7 – Схема деформированной зоны при отрезке:

а) деформированная зона, обусловленная теоретическим полем скоростей (2-26), б) деформированная зона, обусловленная упрощенным полем скоростей (2-29); - - деформированная зона, полученная экспериментально по искажению координатной сетки; - - - деформированная зона, обусловленная теоретическим полем скоростей

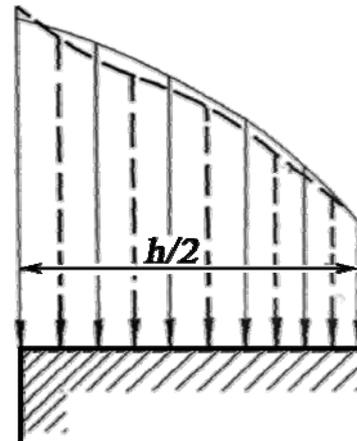


Рисунок 8 – Теоретическая (-) и экспериментальная (- -) эпюры нормальных напряжений, действующих по торцевой контактной поверхности (пояску смятия)

Выражение для определения нормальных напряжений, действующих по пояску смятия ($X = 0$), будет иметь вид

$$\sigma_{xx} = -\sigma_0 \left(1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{6y}{h} \right) \right), \quad (3)$$

где y изменяется от $1/6 h$ до $2/3 h$.

Качественное сравнение эпюры нормальных напряжений, действующих по пояску смятия, полученной теоретическим путём по формуле (3), с характером распределения давления по пояску смятия, полученного экспериментально, представлено на рис. 8.

Достаточно близкий характер теоретической и экспериментальной эпюр нормальных давлений указывает на достоверность полученных теоретическим путём выражений, характеризующих напряженное состояние вырезаемого металла в зоне деформации.

Для количественной оценки правильности этих выражений проводилось сравнение теоретических и экспериментальных значений усилия отрезки. Теоретические значения усилия отрезки находились как интегральная сумма нормальных напряжений на торцовую контактную поверхность режущего инструмента. Результаты сравнения сведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что усилия резания, подсчитанные теоретическим путём, являются завышенными по сравнению с экспериментальными величинами. Для стальных образцов погрешность не превышала 11%. Достаточно большие расхождения, полученные для алюминиевых образцов, можно объяснить тем, что ширина зоны упругой деформации для алюминия будет отличаться от ширины зоны упругой деформации для стали, что изменит выражение (3).

Достаточно точное совпадение усилий резания, подсчитанных по нормальным напряжениям, действующим на торцовую поверхность инструмента, с усилиями резания для различных марок сталей, подсчитанных по выражению:

$$P = L \cdot h \cdot \sigma_{cp}, \quad (4)$$

при периметре реза L , равном единице, получено для различных марок сталей.

Таблица 1 – Сопоставление теоретических и полученных экспериментальных значений усилия отрезки

№	Материал	Толщина, мм	Механические свойства материала σ_B , МПа	Усилие резки, кН		Погрешность, %
				Теория	Эксперимент	
1	Сталь	7,5	525	202,5	182,5	11
2	Сталь	2	525	114,0	105,0	8,5
3	Алюминий	3	77,5	25,25	18,85	34,5
4	Алюминий	2	77,5	16,85	13,85	21,5

Анализ эпюры нормальных напряжений, действующих по контактными поверхностям показывает, что сумма нормальных напряжений, действующих на боковую контактную поверхность, оставляет примерно 0,4 от суммы напряжений, действующих на торцовую поверхность, что совпадает с данными [11].

Выводы.

1. Экспериментальное исследование поля скоростей в зоне деформации при отрезке показало, что теоретическое поле скоростей, описываемое уравнениями (1) и (2), достаточно верно отражает движение частиц металла в зоне деформации при отрезке.

2. Анализ искажения координатной сетки при отрезке металла показывает, что ширина пояса смятия, т.е. зоны пластической деформации на контактной торцовой поверхности, равна половине толщины вырезаемого металла или близка к этой величине..

3. Качественное сравнение теоретической и экспериментальной эпюры давлений на торцовую контактную поверхность указывает на достоверность полученных формул, характеризующих напряженное состояние металла в зоне пластической деформации при отрезке.

4. Количественная проверка полученных формул сравнением теоретических и экспериментальных значений усилия резания и распирающего усилия также показывает их достаточную для практических расчётов точность.

Литература

1. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – 4-е изд., перераб., доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.

2. Шофман Л.А. Теория и расчёты процессов холодной штамповки / Л.А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1964. – 375 с.

3. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1947. – 532 с.

4. Finckenstein E. Untersuchung des Werkzeugverschleißes beim Schneiden von Feinblech // Industrie Anzeiger. – 1970. – Bd. 92, № 65. – PP. 1551-1552.

5. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

6. Кроха В.А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации. – М.: Машиностроение, 1968. – 131с.

7. Зельдович Я.Б. Элементы прикладной математики / Я.Б. Зельдович, Мышкис А.Д. – М.: Наука, 1967. – 592 с.

8. Чудаков П.Д. Исследование технологии процесса вырубki пробивки / П.Д. Чудаков // Исследования в области оборудования и технологии штамповки: Сб. тр. СТАНКИН (М.). – 1958. – № 4. – С. 83-109.

9. Лисин А.Г. Определение напряжений на режущей кромке штампа методом линий скольжения / А.Г. Лисин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1964. – №3. – С. 20-22.

9. Звороно Б.П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки / Б.П. Звороно. – М.: Машигиз, 1949. – 196 с.

10. Маклаков А. Я. Исследование конструкции тонких вырубных матриц / А.Я. Маклаков // Исследования в области оборудования и технологии штамповки: Сб. науч. трудов. – М.: Машигиз, 1958. – С. 222–235.

© В.Л. Хорольський

УДК 621.7

Хорольський В.Л.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДРІЗАННЯ МЕТАЛУ ПРИ
КРОМКОУТВОРЕННІ, ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ЗВАРЮВАННЯ**

В роботі виконано експериментальне дослідження полів швидкостей в зоні деформації при відрізанні металу при кромкоутворенні листової заготовки під зварювання.

Ключові слова: *відрізка, поля швидкостей, зони пластичної деформації, епюри тисків.*

УДК 621.7

Khorolsky V.L.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

**INVESTIGATION THE PROCESS OF PARTING METAL AT FORMATION
A HEM THE SLAB FOR WELDING**

This paper presents the experimental investigation of the velocity field in the deformation zone during the parting metal of formation a hem the slab for welding.

Keywords: *parting metal, the velocity field, the zones of plastic deformation, pressure diagrams.*