دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک- ساخت و تولید (M.Sc)

عنوان :

تحلیل عددی و تجربی تولید قطعه مخروطی شکل آلومینیومی به روش شکل دهی تدریجی (SPIF)

استاد راهنما

دکتر محمد زادشکویان

استاد مشاور

دکتر بهنام داودی

پژوهشگر

مهدی مهرورز

شهریور ماه

نام خانوادگی دانشجو: مهرورز **نام :** مهدی

عنوان پایان نامه : تحلیل عددی و تجربی تولید قطعه مخروطی شکل آلومینیومی به روش شکل دهی تدریجی

استاد راهنما : دکتر محمد زادشکویان **استاد مشاور :** دکتر بهنام داودی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** مهندسی مکانیک **گرایش :** ساخت وتولید

دانشگاه : تبریز **دانشکده :** فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی :** 1391 **تعداد صفحه :** 123

کلید واژه ها : شکل دهی تدریجی ورق آلومینیوم - روش المان محدود - آزمایشات تجربی

چکیده :

روش شکل دهی افزایشی، روشی نوین و در عین حال راه حلی اقتصادی برای تولید سریع قطعات از ورق خام، زمانی که تولید سری های کوچک قطعات ساخته شده از ورق مد نظرمی باشد، است. در این روش از یک ابزار سر کروی که در حال حرکت خطی و دورانی است، برای شکل دهی ورقی که بر قید بسته شده، استفاده می شود. تحلیل متغیرهای زیاد این فرآیند منجر به شناخت آن از روشهای تحلیلی- عددی، جهت تولید مسیر ابزار و تولید بی عیب قطعه می گردد. تحلیل های تجربی و عددی نشان دهنده ی بالا بودن قابلیت شکل دهی و انعطاف پذیری بالای این فرآیند، نسبت به روش های سنتی می باشد. روشهای اجزای محدود به عنوان یکی از شیوه های موثر در مطالعه فرآیندهای شکل دهی از جمله شکل دهی به روش تدریجی می باشد که می تواند اهداف مورد نظر را با تقریب خوبی ارائه دهد. در این مطالعه به شبیه سازی این فرآیند با نرم افزار ABAQUS پرداخته شده و برای مستند سازی آن، کار تجربی انجام گرفته است. در کار تجربی و تحلیل عددی قطعه کارها شامل یک مخروط 45 درجه و یک لیوانی با زاویهٔ دیوارهٔ 90 درجه، از جنس AL 1050 و به ضخامت 2 میلی متر و ابعاد 165×165 میلی متر می باشد، که توسط ابزار سرکروی شکل دهی شده اند. ابزار شکل دهی از جنس فولاد معمولی و به شکل استوانه ای با قطر 15 میلیمتر می باشد. همچنین شکل دهی با استفاده از ماشین تراش TN50Br انجام گرفته شده است. مقایسه نتایج عملی با نتایج تحلیل عددی برای تغییر ضخامت ورق در منطقه تغییر شکل یافته و در امتداد یال مخروط و لیوانی انجام و نتایج آن ارائه شده است که حداکثر اختلاف بین آنها 9 ٪ می باشد. در ادامه با استفاده از تحلیل زیر به بررسی تاثیر پارامتر اندازه گام ابزار در امتداد محور آن بر روی تنشهای پسماند و کرنش ها پرداخته شده و نتایج آن ارائه شده است. همچنین حداکثر نیروهای مورد نیاز برای شکل دهی ورق نیز در شرایط مختلف مطالعه و بررسی شده اند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بخش اول : مقدمه و بررسی منابع	1
1-1- مقدمه :	2
فصل اول : پیشینه تحقیق	4
1-2- تاثیر پارامترهای موثر بر روی شکل پذیری ورق	5
1-2-1- تاثیر نوع ابزار و اثر اصطکاک روی کیفیت سطح مشترک ابزار و ورق	7
1-2-2- تاثیر سرعت پیشروی	8
1-3- تاثیر استراتژی شکل دهی برروی شکل پذیری	9
1-3-1- استراتژی شکل دهی قطعه هرمی شکل	9
1-3-2- تاثیر استراتژی شکل دهی بر روی زبری سطح	11
1- 3-3- تاثیر استراتژی شکل دهی بر روی توزیع ضخامت دیواره قطعه	12
1-4- اندازه گیری نیروهای اعمالی شکل دهی تدریجی ورق در کار تجربی	15
1- 4-1- پیش فرآیند سازی سینگال نیرو	16
1-4-2- تاثیر پارامترهای مختلف بر روی نیروی شکل دهی	18
1-4-2-1- تاثیر اندازه گام	18
1-4-2-2- تاثیر قطر ابزار	19

1-4-2-3- تاثیر زوایه دیواره 20

1-4-2-4- تاثیر ضخامت ورق 21

1-4-2-5- تاثیر روانکاری 22

1-4-3- بحث و نتیجه گیری 23

1-5- تاثیر دمای شکل دهی 25

1-6- بررسی انواع ترک در قطعات شکل دهی شده به روش تدریجی 27

1-7- تاثیر استراتژی مسیر ابزار بر نیروی شکل دهی در قطعه هرمی شکل 28

1-8- نتیجه گیری 30

بخش دوم : مواد و روشها 31

فصل دوم : مفاهیم و تعاریف و مبانی شکل دهی تدریجی 32

2-1- تعاریف و اهداف شکل دادن 33

2-1-1- تعریف تنش 34

2-1-1-1- تنش های اصلی 35

2-1-2- معیار تسلیم فون مایزز 36

2-1-3- تغییر شکل نسبی یا کرنش 37

2-1-4- اثر بوشینگر 37

2-2- معرفی روش شکل دهی تدریجی 38

2-3- روشهای مختلف شکل دهی تدریجی 39

2-4- مسیرهای مختلف ابزار 42

2-5- رابطه بین خم شدن و کاهش ضخامت ورق خام 43

2-6- کاربردهای روش شکل دهی تدریجی 45

2-6-1- یک نمونه از کاربرد شکل دهی تدریجی در صنعت پزشکی 47

2-7- مزایا و محدودیت های شکل دهی به روش تدریجی 49

2-8- نتیجه گیری 51

فصل سوم: شبیه سازی فرآیند شکل دهی تدریجی در نرم افزار ABAQUS 52

3-1- مقدمه 53

3-2- آشنایی با روش اجزای محدود 54

3-3- دیدگاه کلی سیستم المان محدود در نرم افزار ABAQUS 56

3-3-1- مقایسهٔ بین تحلیل دینامیکی صریح و ضمنی 56

3-3-2- شرط پایداری در حل صریح 58

3-3-3- تعادل انرژی ها در حل صریح 58

3-3-4- مفاهیم زمان در روش اجزای محدود صریح دینامیکی 59

3-4-شبیه سازی فرآیند شکل دهی تدریجی در نرم افزار ABAQUS 60

3-4-1- مدلسازی 60

3-4-2- خصوصیات مواد 61

3-4-3- تعداد مراحل و نوع حل مسئله 63

3-4-4- ضریب اصطکاک سطوح تماس ابزار 64
3-4-5- شرایط مرزی 64
3-4-6- مش بندی مدل 65
3-4-7- حل مسئله 66
فصل چهارم : آزمایشات تجربی شکل دهی افزایشی قطعات آلومینیومی 67
4-1- مقدمه 68
4-2- مراحل آماده سازی و تجهیزات مورد استفاده برای آزمایشات تجربی 68
4-3- مشخصات ورق مورد استفاده 70
4-4- تولید قطعهٔ مخروطی شکل آلومینیومی با زاویهٔ دیوارهٔ 45° 72
4-5- تولید قطعهٔ لیوانی شکل با زاویه ی دیوارهٔ 90 درجه در یک مرحله 75
4-5-1- شکل دهی یک مرحله ای لیوانی تا عمق 45 میلی متر 75
4-5-2- شکل دهی یک مرحله ای تا عمق 25 میلی متر 76
4-6- استراتژی تولید قطعهٔ لیوانی شکل در سه مرحله شکل دهی 77
4-7- تولید قطعه مخروطی شکل با زاویهٔ دیوارهٔ 75° 78
4-8- تولید قطعهٔ مخروطی شکل از ورق مسی 78
بخش سوم : نتایج و مباحث 80
فصل پنجم : بررسی نتایج و بحث 81
5-1- مقدمه 82

5-2- بررسی نتایج شبیه سازی و آزمایشات تجربی قطعهٔ مخروطی شکل 83
5-2-1- بررسی تغییرشکل نهایی قطعه کار 83
5-2-2- بررسی توزیع ضخامت شبیه سازی و آزمایشات تجربی 84
5-2-3- بررسی جابجایی و چرخش المانها 87
5-2-3-1- مقایسهٔ نتایج جابجایی شبیه سازی وآزمایشات تجربی 88
5-2-4- بررسی تنش های پسماند در قطعه کار 89
5-2-5- بررسی کرنش های ایجاد شده در قطعه کار 90
5-2-6- بررسی نیروهای شکل دهی 92
5-2-7- بررسی تاثیر اندازه گام ابزار در فرآیند شکل دهی تدریجی 94
5-2-8- توزیع ضخامت قطعه مخروطی شکل با زاویهٔ دیوارهٔ 75° 97
5-2-9- توزیع ضخامت قطعه مخروطی شکل مسی 98
5-3- بررسی نتایج شبیه سازی و آزمایشات تجربی قطعهٔ لیوانی 99
5-3-1- بررسی تغییرشکل نهایی قطعه کار 99
5-3-2- بررسی توزیع ضخامت شبیه سازی و آزمایشات تجربی 99
5-3-3- بررسی تنش های پسماند در قطعه کار 102
5-3-4- بررسی کرنش های ایجاد شده در قطعه کار 103
5-3-5- بررسی نیروهای شکل دهی 105
5-3-6- توزیع ضخامت قطعه لیوانی به عمق شکل دهی 45 میلی متر 106

5-3-7- توزیع ضخامت قطعه لیوانی شکل تولید شده در سه مرحله 107

5-3-8- بررسی تاثیر استراتژی شکل دهی سه مرحله ای 108

5-3-9- نتیجه گیری 110

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات 111

6-1- نتیجه گیری 112

6-2- پیشنهادات 116

منابع و مآخذ 117

واژه نامه انگلیسی - فارسی : 120

فهرست جداول و نمودارها

عنوان	صفحه
جدول 1-1. تاثیر استراتژی های مختلف ابزار بر روی نیروهای شکل دهی	29
جدول 3-1. پارامترهای مدل Johnson-Cook برای AL1050	62
جدول 3-2. مشخصات مکانیکی ورق آلومینیوم 1050	63
جدول 4-1. مشخصات مکانیکی ورق آلومینیومی سری 1050	71
جدول 4-2. درصد وزنی عناصر تشکیل دهندهٔ ورق آلومینیومی سری 1050	71
نمودار 5-1. توزیع ضخامت دیوارهٔ مخروط 45° در فرآیند spif $(\mathbf{t_0 = 2\ mm})$	85
جدول 5-1. مقایسهٔ توزیع ضخامت ورق به روش اجزای محدود و روش تجربی	86
نمودار 5-2. توزیع ضخامت بدست آمده از آزمایشات تجربی و شبیه سازی قطعه مخروطی	86
نمودار 5-3. مقایسهٔ نتایج جابجایی های بدست آمده برای قطعه مخروطی	89
نمودار 5-4. پروفیل توزیع ضخامت دیواره در فرآیندspif برای مخروط 75°	97
نمودار 5-5. توزیع ضخامت دیوارهٔ قطعهٔ مسی مخروطی مسی 45° در فرآیندspif	98
نمودار 5-6. پروفیل توزیع ضخامت قطعهٔ لیوانی شکل با عمق شکل دهی25 میلی متر	101

جدول 5-2. مقایسهٔ توزیع ضخامت ورق آلومینیومی در قطعهٔ لیوانی 102

نمودار 5-7. توزیع ضخامت بدست آمده از آزمایشات تجربی و شبیه سازی قطعه لیوانی 102

نمودار 5-8. پروفیل توزیع ضخامت قطعهٔ لیوانی شکل با عمق شکل دهی45 میلی متر 107

نمودار 5-9. پروفیل توزیع ضخامت قطعهٔ لیوانی شکل دهی شده در سه مرحله 108

نمودار 5-10.توزیع ضخامت قطعهٔ لیوانی دردوحالت شکل دهی یک و سه مرحله ای 109

نمودار6-1. توزیع ضخامت بدست آمده از آزمایشات تجربی و شبیه سازی قطعه مخروطی 113

نمودار6-2.توزیع ضخامت در دوحالت شکل دهی یک و سه مرحله ای 114

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل 1-1. منحنی شکل دادن در شکل دهی سنتی و شکل دهی تدریجی 6

شکل 1-2. سیستم مختصاتی و تغییر شکل شبکه ای بر روی یک نمونه تست شیار مستقیم 6

شکل 1-3. سطوح شکل داده شده با انواع ابزار مختلف با روانکار و بدون روانکار 7

شکل 1-4. منحنی حدود شکل دهی با سرعتهای پیشروی مختلف برای ابزار 5 میلیمتری 8

شکل 1-5. منحنی حدود شکل دهی با سرعتهای پیشروی مختلف برای ابزار 5 میلیمتری 8

شکل 1-6. استراتژی های مختلف فرم دهی برای هرم مربعی با زاویه دیواره °75 10

شکل 1-7. زبری سطح 11

شکل 1-8. پروفیل ضخامت دیواره در فرآیند SPIF تک پاسه برای مخروط 70° 12

شکل 1-9. جزئیات نازک شدگی در نمونه 70 درجه 13

شکل 1-10. پروفیل ضخامت دیواره در فرآیند SPIF دو پاسه با پیش فرم 40 درجه 14

شکل 1-11. شماتیک قطعه مخروطی 15

شکل 1-12. مولفه های سه نیرو 16

شکل 1-13. جزئیات مولفه های نیرو در زمان شکل دهی مخروط 17

شکل 1-14. مقدار نیروها و میانگین آنها 18

شکل 1-15. منحنی نیرو برای قطعات با اندازه گام متفاوت 18

شکل 1-16. تغییرات نیرو با افزایش اندازه گام عمودی 19

شکل 1-17. منحنی نیرو برای قطعات شکل داده شده با قطر ابزار از 10 تا 25 میلیمتر 19

شکل 1-18. تغییرات نیروی اوج ونیروی متوسط با افزایش قطر ابزار 20

شکل 1-19. منحنی نیرو برای قطعه ای با زوایای دیواره 20-30-40-50-60 درجه 20

شکل 1-20. تغییرات نیروها با افزایش زاویه دیواره 21

شکل 1-21. منحنی نیروها برای قطعات با ضخامتهای متفاوت و زوایای دیواره مختلف 21

شکل 1-22. تغییرات نیرو با افزایش ضخامت ورق 22

شکل 1-23. تغییرات نیرو با انواع مختلف روانسازها برای زاویه دیواره 60° 22

شکل 1-24. برآیند نیروها و پروفیل ضخامت مخروط 70 درجه 23

شکل 1-25. منحنی نیرو برای قطعات با زاویه دیواره مختلف 24

شکل 1-26. شکل دهی افزایشی مخروطهایی با زوایای شیب و دماهای مختلف طراحی 26

شکل 1-27. انواع ترک در قطعه مخروطی 27

شکل 1-28. قطعه مورد آزمایش 28

شکل 1-29. استراتژی های مسیر ابزار 29

شکل 2-1. تجهیزات روش شکل دهی تدریجی 38

شکل 2-2. نحوه انجام فرآیند شکل دهی تدریجی 39

شکل 2-3. دو روش شکل دهی تدریجی. الف: SPIF مثبت ب: SPIF منفی 40

شکل 2-4. ورق گیر متحرک (الف) و ورق گیر ثابت (ب) 41

شکل 2-5. نمونه ای از قالبهای مورد استفاده 42

شکل 2-6. مسیر ابزار مارپیچی و حلقه ای 43

شکل2-7. ورق فلزی قبل و بعد ازشکل دهی برای بدست آوردن قانون سینوس 44

شکل2-8. رابطه ی شکل پذیری Kegg برای شکل دهی برشی 45

شکل 2-9. قطعات ساخته شده به روش SPIF در صنایع مختلف 46

شکل 2-10. مراحل ساخت قوزک پای مصنوعی 49

شکل 3-1. نمودار انرژی بر حسب زمان در یک مسئله شبه استاتیکی 59

شکل 3-2. مدلسازی سه بعدی ابزار ، فیکسچر و ورق برای قطعهٔ مخروطی 61

شکل 3-3. مدلسازی سه بعدی ابزار ، فیکسچر و ورق برای قطعهٔ لیوانی 61

شکل 3-4. مسیرهای حرکت ابزار در حین انجام فرآیند شکل دهی برای قطعهٔ مخروطی 64

شکل 3-5. مدل مش بندی ورق با المانهای پوسته ای 65

شکل 3-6. مدل مش بندی فیکسچر با المانهای صلب 66

شکل 4-1. دستگاه برش گیوتین 68

شکل 4-2. کورهٔ الکتریکی 69

شکل 4-3. ابزار شکل دهی 69

شکل 4-4. فیکسچر نگهدارنده ورق آلومینیومی 70

شکل 4-5. دستگاه تراش TN50Br 72

شکل 4-6. فیکسچر و ابزار سوارشده بر روی دستگاه تراش با زاویه تنظیم ابزار°45 73

شکل 4-7. مسیر حرکت ابزار 73

شکل 4-8. قطعهٔ مخروطی با زاویهٔ دیواره ی°45 74

شکل 4-9. مش بندی قطعهٔ مخروطی شکل دهی شده قبل و بعد از تغییر شکل 74

شکل 4-10. قطعه لیوانی شکل تولید شده با زاویه ی دیوارهٔ °90 برروی دستگاه تراش 75

شکل 4-11. قطعه لیوانی شکل با زاویه ی دیوارهٔ °90 76

شکل 4-12. قطعهٔ تولید شده با زاویهٔ دیواره ی °90 و عمق شکل دهی 25 میلیمتر 76

شکل 4-13. نمونه های تولید شده با زوایای دیوارهٔ °45 و °70 و °90 77

شکل 4-14. قطعهٔ مخروطی شکل با زاویه ی دیوارهٔ °75 78

شکل 4-15. قطعهٔ مخروطی شکل تولید شده از ورق مسی 79

شکل 5-1. مسیر دستور نمایش قطعه کار 83

شکل 5-2. قطعهٔ مخروطی شکل 83

شکل 5-3. تغییرات مربوط به ضخامت درقطعه مخروطی شکل 84

شکل 5-4. نمایش مسیر اندازه گیری ضخامت در شبیه سازی 84

شکل 5-5. برش قطعهٔ مخروطی 85

شکل 5-6. جابجایی فاصله ای قطعهٔ مخروطی شکل در جهت محور Z 87

شکل 5-7. جابجایی دورانی و چرخشی (Rotational Displacement) 88

شکل 5-8. تنش های پسماند بر اساس معیار فون مایزز در قطعه مخروطی 90

شکل 5-9. کرنش پلاستیک در قطعه کار نهایی 91

شکل 5-10. کرنش پلاستیکی معادل در قطعه کار نهایی 91

شکل 5-11. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور X 93

شکل 5-12. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور Y 93

شکل 5-13. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور Z 94

شکل 5-14. تنش های پسماند در قطعه مخروطی با گام ابزار 1 میلیمتر 95

شکل 5-15. کرنش پلاستیک در قطعه کار نهایی با گام ابزار 1 میلیمتر 95

شکل 5-16. کرنش پلاستیکی معادل در قطعه کار نهایی با گام ابزار 1 میلیمتر 96

شکل 5-17. مقدار نیروی عکس العمل قطعهٔ مخروطی با گام ابزار 1 میلیمتر 96

شکل 5-18. مقدار نیروی عکس العمل قطعهٔ مخروطی با گام ابزار 2 میلیمتر 97

شکل 5-19. قطعهٔ لیوانی شکل 99

شکل 5-20. تغییرات مربوط به ضخامت درقطعه لیوانی شکل 100

شکل 5-21. نمایش مسیر اندازه گیری ضخامت در فرآیند شبیه سازی 100

شکل 5-22. تنش های پسماند در قطعه لیوانی با ابزارسرکروی به قطر 15 میلیمتر 103

شکل 5-23. کرنش پلاستیک در قطعه کار نهایی 104

شکل 5-24. کرنش پلاستیکی معادل در قطعه کار نهایی 104

شکل 5-25. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور X 105

شکل 5-26. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور Y 106

شکل 5-27. نیروهای برشی حاصل از شکل دهی قطعهٔ مخروطی در جهت محور Z 106

شکل6-1. تنش های پسماند در قطعه مخروطی با ابزارسرکروی به قطر 15mm 114

شکل6-2. تنش های پسماند در قطعه لیوانی با ابزارسرکروی به قطر 15 میلیمتر 115

بخش اول :

مقدمه و بررسی منابع

1-1- مقدمه :

امروزه شکل دهی فلزات به بخش مهمی از صنعت تبدیل شده است که در طراحی ماشین آلات و محصولات کارخانجات، قطعات ساخته شده از ورق فلزی کاربرد وسیعی داشته و صنعت فلزکاری اغلب روشهای مختلفی را که اساس آنها استفاده از سنبه ها و ماتریس ها است بکار می برد. به عنوان مثال از روشهای شکل دهی ورق فلزی سنتی مانند کشش عمیق، نیازمند ابزارهای مخصوص می باشد که این ابزارها عمدتاً دارای ابعاد دقیق و گران قیمت هستند. قالبهای صنعتی معمولا برای تولیدات انبوه بکار می روند و در برابر هزینه های بالای طراحی و ساخت آنها برای قطعات با تعداد تولید کم به صرفه نخواهد بود. عموماً وقتی که سری های کوچک تولید نیاز است، روشهای مرسوم که بر پایه قالبسازی هستند دیگر قابل استفاده نبوده و بنابراین متدهای جدیدی به منظور برآورده کردن نیازهای تحمیل شده به صنایع باید ایجاد گردند.

امروزه در بخش های مختلف صنعتی از جمله : نمونه سازی سریع، خودروسازی ، صنعت هوا فضا ، بیوتکنولوژی ، لوازم خانگی و غیره، نیاز به تولید سری های کوچک قطعات می باشد. یکی از روشهای نوین که پیدایش آن از 1990 شروع شد، روش شکل دهی تدریجی ورق[1] می باشد. شکل دهی تدریجی یک فرآیند انعطاف پذیر و ابداعی است که یک ابزار در حال پیشروی ، ورق فلزی را با تغییر شکل موضعی به حالت مطلوب در می آورد. این روش بر اساس استفاده از ابزار سر کروی ساده است که در طول مسیر ابزار کنترل شده CNC[2] حرکت می کند و از این جهت انعطاف پذیر است که به ابزار مخصوصی نیاز نمی باشد. به علاوه توانایی برای تولید اشکال پیچیده ازجمله شکل صورت انسان را نیز دارد.

فرآیند شکل دهی تدریجی در مقایسه با روش های سنتی بسیار کند است و بدین منظور آن را قابل استفاده و مناسب برای سری های کوچک تولید و نمونه سازی سریع می سازد. در ضمن در شکل دهی تدریجی به جای استفاده از پرس های هیدرولیک با تناژهای بالا می توان از ماشین های تراش و فرز

1 Incremental Sheet Forming (ISF)

2 Computer Numerical Control

عمودی متداول در صنعت استفاده نمود. با توجه به مزایای روش شکل دهی تدریجی از جمله هزینه کمتر و مناسب بودن برای سری های کوچک تولید ، به منظور پیش بینی رفتار ورق در این شیوه شکل دهی ، شبیه سازی با استفاده از نرم افزار ها مورد نیاز می باشد. نازک شدن ورق از پارامترهای مهم در این فرآیند است که با کمک نتایج شبیه سازی قابل پیش بینی می باشد و مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی نقش موثری در معتبر سازی حاصل تحقیق خواهد داشت.

در فصل اول پیشینه تحقیقات، اقدامات انجام یافته توسط سایر محققین در خصوص پارامترهای موثر در این فرآیند و اندازه گیری نیروهای لازم برای شکل دهی ورق ارائه شده است. با این که بیش از یک دهه از ابداع روش شکل دهی تدریجی می گذرد و در طی این سال ها این فرآیند به مرور به تکامل رسیده و در حال توسعه بیشتر نیز می باشد. با این وجود به نظر می رسد برای بهینه کردن پارامتر های موثر در این فرآیند هنوز نیاز به تحقیقات و آزمایشات بیشتر می باشد. در این میان محققین در کنار آزمایشات تجربی و شبیه سازی های اجزای محدود، به نتایجی دست یافته اند که می توانند قابل استناد باشند اما به نظر می رسد نتایج آزمایشات تجربی از اعتبار بالاتری برخوردار هستند. بدین منظور در این بخش به بررسی اقدامات انجام یافته در زمینه پارامتر های موثر در فرآیند شکل دهی تدریجی از جمله اندازه ابزار، سرعت پیشروی، اصطکاک بین سطح مشترک ورق و ابزار، مسیر ابزار و غیره پرداخته شده و در ادامه مطالعات تجربی یی که نیروهای اعمال شده در فرآیند را اندازه گیری کرده اند، معرفی و بیان شده اند. در فصل دوم به معرفی و بیان مفاهیم اولیه و مبانی و کاربردهای شکل دهی تدریجی پرداخته شده و مزایا و محدودیت های آن ذکر شده است. و در فصل سوم این تحقیق فرآیند شکل دهی تدریجی ورق آلومینیومی توسط نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS که یکی از نرم افزارهای قدرتمند تحلیل عددی می باشد ، شبیه سازی شده است تا تغییرات ضخامت ورق به شکل قطعه ی مخروطی و تنش ها و کرنش های پسماند ناشی از عملیات شکل دهی، بررسی و مورد مطالعه قرار گیرند. . با توجه به پیچیده بودن مدل تحلیلی و حل آن در حالت سه بعدی کاملا طبیعی است که زمان شبیه سازی بسیار طولانی باشد. در راستای مستند سازی نتایج تحلیل عددی، کار تجربی نیز بر روی ورقی از جنس آلومینیوم 1050 انجام یافته است که در فصل چهارم به آن پرداخته شده است. در فصل پنجم به بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج تجربی پرداخته شده است که نتایج همخوانی قابل قبولی با یکدیگر داشته اند.

فصل اول :

پیشینه تحقیق

1-2- تاثیر پارامترهای موثر بر روی شکل پذیری ورق [1]

درتحقیقی که توسط کیم[3]و پارک[4] انجام گرفته شده است و شامل آزمایشاتی می باشد که به بررسی پارامترهای موثر در فرآیند شامل نوع ابزار، سرعت پیشروی، اصطکاک بین سطح مشترک ابزار و ورق، بر روی شکل پذیری ورق پرداخته شده است. دو نوع ابزار سر نیم کره ای و توپی شکل همراه با روغنکاری و بدون روغنکاری در این آزمایش استفاده شده اند. ماده مورد استفاده در این مطالعه، ورق آلومینیومی 1050 با ضخامت 0/3 میلی متر به ابعاد 130×130 میلیمتر است که در دمای 350℃ به مدت 2 ساعت عملیات آنیلینگ بر روی آن انجام گرفته است. مشخصات ماده به شرح زیر است:

مدول الاستیک: 70 GPa، تنش تسلیم: 32/5MPa ورابطه تنش متوسط: $\bar{\sigma}=140\ \varepsilon^{-0/25}$ MPa

قطر ابزارها با اندازه 5 و10 و15 میلی مترانتخاب شده و همچنین سرعت پیشروی در جهت عمود بر ورق در نظر گرفته شده است. تست های شیار مستقیم هم موازی با جهت چرخش[5](RD) و هم در جهت عرضی (TD)[6] انجام شده است. در این روش شکل دهی دو مشخصه تغییر شکل وجود دارد. یکی از آنها طرح تغییر شکل است. هنگامی که ابزار در یک صفحه بصورت مستقیم حرکت می کند، تغییر شکلی که در نقاط ابتدایی و انتهایی اتفاق می افتد که کشش در این حالت دو محوره است. تغییر شکلی که بین این نقاط بوجود می آید، کرنش صفحه ای می باشد. با افزایش انحنای حرکت ابزار، تغییر شکل تبدیل به کشش بیش از دو محور می شود. مشخصه دیگر قابلیت فرم پذیری تغییر شکل است. همانطور که در شکل 1-1 نشان داده شده است، منحنی شکل دادن قابلیت فرم پذیری در فضای بین کرنش اصلی و فرعی برای یک خط مستقیم با شیب منفی را بیان می کند. بخصوص برای ورق آلومینیوم، قابلیت فرم پذیری می تواند توسط اسکالر $(\varepsilon_{major}+\varepsilon_{minor})$ مشخص شود .

---

3 kim

4 Park

5 Parallel to Rolling Direction

6 Transverse Direction