الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

دراسة وتقييم إنتاج مجلات المركبات من خليطة الألمنيوم (A356.0) بطريقة السباكة بالضغط المنخفض (LPDC)

مشروع أُعد لنيل درجة الماجستيرفي علم المواد وهندستها

المهندس: سامر محمود جغصي

إشراف الأستاذ المساعد

الدكتور: محمد مازن يعقوب

2018 م

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /1200/ المتخذ بالجلسة رقم /12/ تاريخ 2018/2/26

اطلع مجلس البحث العلمي والدراسات العليا على قرار مجلس كلية الهندسة الميكانيكة والكهربائية رقم /1388/تاريخ 2018/2/4

وبعد الرجوع إلى اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادرة بالمرسوم /250/ لعام 2006

قرار مجلس جامعة دمشق رقم /7802/ص تاريخ 2012/7/30 بشأن الموافقة على تسجيل رسالة الطالب

وبنتيجة المذاكرة قرر مجلس البحث العلمي والدراسات العليا:

الموافقة على تأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير في قسم هندسة التصميم الميكانيكي التي أعدها الطالب **سامر جغصي** بعنوان: ***(دراسة وتقييم إنتاج عجلات المركبات من خليطة الألمنيوم A356 بطريقة السباكة بالضغط المنخفض)*** بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية من السادة الأساتذة:

د. محمد علي سلامة	أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	
جامعة دمشق	الاختصاص: هندسة التعدين واللحام والإنشاءات الفولاذية عالية المتانة		عضواً
د. محمد مازن يعقوب	أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	
جامعة دمشق	الاختصاص: المعادن والمواد المركبة		عضواً مشرفاً
د. مهلب الداود	أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	
جامعة دمشق	الاختصاص: علم المعادن – معالجة حرارية		عضواً

المحتويات contents

العنوان **الصفحة**

- **فهرس الأشكال.....IX**
- **فهرس الجداول.....,....XV**
- **فهرس المعادلات.....XVI**
- **الإهداء والشكر.....XVIII**
- **الملخص.....XIX**
- **أهمية ومبررات البحث.....XIX**
- **أهداف ومشكلة البحث.....XX**
- **الدراسة النظرية.....1**

الفصل الأول: مبدأ تقنية السباكة بالضغط المنخفض.....2

1-1 لمحة تاريخية.....3

2-1 طرق التصنيع.....3

3-1 مميزات ومساوئ عملية االسباكة.....4

4-1 الأنواع الرئيسية لعمليات الصب.....5

5-1 الصب ضمن القوالب الرملية.....5

6-1 عمليات السباكة الدقيقة.....6

7-1 الصب في القوالب المعدنية الدائمة.....6

8-1 أنواع عمليات السباكة بالقوالب المعدنية.....7

9-1 تقنية السباكة بالضغط المنخفض 9

1-9-1 مبدأ هذه التقنية.....10

10-1 طرق سباكة االعجلات.....11

1-10-1 طريقة السباكة التثاقلية.....12

2-10-1 طريقة السباكة بالضغط المنخفض.....12

3-10-1 مميزات عملية السباكة بالضغط المنخفض (LPDC).....15

4-10-1 الفرق مابين الألمنيوم والمغنزيوم والفولاذ في مسبوكات العجلات.....16

الفصل الثاني: دراسة أجزاء العجلة المسبوكة والقوى المؤثرة عليها.....17

2-1 أنماط عجلات خلائط الألمنيوم.....18

2-2 الأجزاء الرئيسية في العجلات المسبوكة.....19

2-3 الدراسات النظرية لطرق تحميل العجلات.....20

2-3-1 مقدمة.....20

2-3-2 طريقة (eye bar analogy).....20

2-3-3 الدراسة تحت تأثير الحمل القطري.....21

2-3-4 الدراسة تحت تأثير الضغط الهوائي في منطقة rim flange.....23

2-3-5 نتائج الدراسة.....25

الفصل الثالث: دراسة قالب سباكة العجلات وجريان المصهور.....28

3-1 دراسة جريان المعدن المصهور.....29

3-2 دراسة قالب سباكة العجلات.....29

3-2-1 مكونات القالب.....29

3-2-2 حركة القالب.....30

3-2-3 أنواع عملية التجمد.....30

3-2-4 القوى المؤثرة على قالب السباكة.....32

3-3 الانكماش أثناء عملية التجمد (shrinkage).....32

الفصل الرابع: تركيب خلائط الالمنيوم المتخصصة في إنتاج العجلات وتأثير العناصر المضافة على البنية.....34

4-1 مقدمة.....35

4-2 أهم خلائط الألمنيوم.....35

4-3 خلائط الألمنيوم _ سيليكون الأساسية.....35

4-4 الخواص الفيزيائية لخليطة الألمنيوم A356,0.....36

4-5 مخطط توازن الألمنيوم _ سيليكون.....37

4-6 البنى الميكروية لخلائط (Al-Si).....37

4-7 تأثير العناصر المضافة على خلائط Al-Si.....40

4-7-1 مقدمة.....40

4-7-2 العناصر المضافة.....40

الفصل الخامس: دراسة عملية إزالة الغازات من المصهور (Degassing)....45

5-1 مقدمة.....46

5-2 تحضير المصهور.....46

5-3 نشوء الهيدروجين في مسبوكات خلائط الألمنيوم ومصادره.....46

5-4 مبدأ عملية (degassing).....47

5-5 العوامل المؤثرة في كمية الهيدروجين الممتص.....48

5-5-1 تأثير درجة حرارة المصهور.....48

5-5-2 تأثير زمن عملية degassing.....49

الفصل السادس: دراسة عملية التوزع الحراري في أجزاء العجلة المسبوكة وآلية تجمدها.....51

6-1 مقدمة.....52

6-2 حساب التدفق الحراري (heat flow).....53

6-3 المقاومات الحرارية (thermal resistances).....53

6-4 طرائق زيادة عملية الانتقال الحراري أثناء تبريد المسبوكات.....54

6-5 توزع درجات الحرارة في العجلة المسبوكة وأزمنتها.....55

6-6 السيولة (flowability or fluidity).....55

6-7 تبلور المصهور (crystallization).....56

6-7-1 أنواع عملية التبلور.....57

6-7-2 البنية الميكروية للبلورات الأولية في خلائط العجلات (Al-Si).....58

6-8 ضبط عملية التجمد في العجلة المسبوكة.....60

6-9 مقياس SDAS (secondary dendrite arm spacing).....61

6-10 العوامل المؤثرة في مقياس (SDAS).....63

6-10-1 تأثير معدل التبريد في مقياس (SDAS).....63

6-10-2 تأثير نوع معدن سبيكة (Al-Si) في مقياس (SDAS).....65

6-10-3 تأثير السيولة في مقياس (SDAS).....66

الفصل السابع: تقييم البنية الناتجة ومدى دقتها ونعومتها وانتشار العيوب....68

7-1 مقدمة.....69

2-7 الأسباب العامة لتشكل عيوب عملية السباكة.....69
3-7 التصنيف العام لعيوب منتجات عمليات السباكة.....70
4-7 تصنيف عيوب المسبوكات ضمن مجال العملية.....72
1-4-7 عيوب المسبوكات في مجال التجمد.....72
1-1-4-7 تشكل الفجوات في المسبوكات.....73
2-4-7 عيوب المسبوكات في مجال التبريد.....75
1-2-4-7 الإجهادات الحرارية في المسبوكات.....75
2-2-4-7 الكسور الساخنة (hot tears).....76
3-2-4-7 الكسور الباردة (cold crack).....77
4-2-4-7 تشوه المسبوكات (distortion of casting).....77
5-2-4-7 تخفيض الإجهادات الحرارية في المسبوكات.....78
5-7 طرق إجراء عمليات فحص وتفتيش العيوب في مسبوكات الألمنيوم.....78
1-5-7 ضبط الجودة (quality control).....78
2-5-7 x-ray inspection (real time radioscopic).....78
6-7 العيوب الناتجة في عجلات سبائك الألمنيوم.....80
1-6-7 عيوب الثقوب (hole type defects).....80
2-6-7 عيوب التصدعات والكسور(crack type defects).....82
- **الفصل الثامن: الدراسات المرجعية Referential Studies 86**
- **الفصل التاسع: الدراسة العملية Executive Study.....94**
9-1 مراحل الدراسة العملية على العجلة المدروسة باستخدام التطبيقات الحاسوبية.....95
9-1-1 رسم العجلة.....95
9-1-2 دراسة العجلة المرسومة ضمن برنامج (Click2Cast).....96
9-1-3 دراسة العجلة المرسومة ضمن برنامج (Click2Cast)

باستخدام قنوات تبريدية (chiller) 103

9-2 دراسة البنى الميكروية لعينات من عجلتين مسبوكتين مسبقاً بطريقة (LPDC).....106

9-3 اختبار التحليل الكيميائي للعينات المدروسة.....113

- **المناقشة والنتائج 115**
- **التوصيات 116**
- **المراجع 117**

فهرس الأشكال Figures list

الشكل **الصفحة**

(1-1) مخطط يوضح طرق التصنيع المتنوعة.....4

(1-2) الأجزاء الرئيسية للقوالب الرملية.....6

(1-3) منتجات تقنية السباكة بالضغط المنخفض.....9

(1-4) نموذج لآلة سباكة بالضغط المنخفض.....9

(1-5) مبدأ عملية السباكة بالضغط المنخفض.....10

(1-6) مراحل سباكة العجلات بطريقة LPDC.....13

(1-7) مراحل إنتاج عجلة مسبوكة.....14

(1-8) المراحل الرئيسية لحركة قالب سباكة العجلات بطريقة LPDC.....15

(2-1) نمط العجلات المصنعة بطريقة الطبعة أو التشكيل.....18

(2-2) نمط العجلات المصنعة بطريقة السباكة من قطعة واحدة.....18

(2-3) نمط العجلات المصنعة بأكثر من قطعة.....18

(2-4) المناطق الرئيسية للعجلة المدروسة.....19

(2-5) مخطط طريقة eye bar analogy في دراسة تحميل العجلات.....20

(2-6) مخطط طريقة الحمل القطري في دراسة تحميل العجلات.....22

(2-7) القوة المؤثرة على جدار منطقة rim.....24

(2-8) المناطق الرئيسية الحدية لتوزع الاجهادات في بروفيل العجلة.....25

(2-9) التشوه العام الحاصل على العجلة المدروسة نتيجة زيادة الضغط.....26

(2–10) العلاقة الخطية مابين الحمل والإزاحة في منطقة inboard bead seat.....26

(2–11) مخطط الاجهاد – الانفعال لسبيكة الألمنيوم A356.....26

(2–12) توزع الاجهادات في العجلة المسبوكة.....27

(3–1) الأجزاء الرئيسية لقالب سباكة العجلات.....30

(3–2) التجمد وحيد الاتجاه.....31

(3–3) التجمد غير وحيد الاتجاه.....31

(3–4) التجمد الموجه(directional solidification) في العجلة المسبوكة.....32

(3–5) ظهور المسامة الانكماشية (shrinkage porosity) في العجلة المسبوكة.....33

(4–1) مخطط توازن AL–Si.....37

(4–2) (بلورات الألمنيوم الصافي) (99.95%Al).....38

(4–3) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 7.12% Si 38

(4–4) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 10% Si 38

(4–5) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 12% Si 39

(4–6) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 19.85% Si.....39

(4–7) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 50% Si 39

(4–8) بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al–Si تحوي(12.9%Si) والمسبوكة
بطريقة السباكة التثاقلي ومعدلة بنسبة(0.03%Ti).....41

(4–9) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 12.9% Si مسبوكة بطريقة
السباكة التثاقلية.....41

(4–10) بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 25%Si و 1.4%Fe.....42

(4–11) بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 12%Si مضافاً إليها عنصر الصوديوم.....42

(4–12) البنية الميكروية لخليطة Al–Si تحوي (7.12%Si–0.045%Mg).....43

(4–13) بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al–Si تحوي (12.9%Si) والمسبوكة

بطريقة السباكة التثاقلية ضمن القوالب ومعدلة بنسبة (0.045%Sr).....44

(5–1) مخطط عملية التخلية (degassing) بغاز الآرغون لمصهور سبائك AL–Si.....48

(5–2) كمية الهيدروجين الممتص في خلائط الألمنيوم تبعا لدرجة

حرارة الخليطة المصهورة.....48

(5–3) مخطط يوضح دراسة تجريبية لمجموعة من العينات المختبرة والمفحوص

نسبة الهيدروجين فيها مع تغير درجات حرارة المصهور.....49

(6–1) منحني تبريد المعادن النقية.....57

(6–2) البنية الميكروية للبلورات المتشكلة في المسبوكات.....58

(6–3) الأنماط المختلفة لبلورات الصلب المتجمد.....59

(6–4) نمو الذراع الدندريتي على سطح جدار قالب السباكة باتجاه المركز.....59

(6–5) النظرة المبدئية والتعديلات الطارئة على أذرع الدندريت المتشكلة.....60

(6–6) موضع الضبط الحراري في منطقة (rsj) rim spoke junction لقوالب

سباكة العجلات ذات أساس الألمنيوم.....60

(6–7) المخطط التمثيلي لتجمد منطقة (rsj) من العجلة المسبوكة.....61

(6–8) طريقة حساب مقياس (SDAS).....62

(6–9) الصور المجمعة في مساحة 5*5 mm.....62

(6-10) مقياس SDAS في العينة المدروسة.....63
(6-11) طريقة قياس SDAS بوجود قناة تبريد.....64
(6-12) معدلات مقياس (SDAS) عند z=2.5mm.....64
(6-13) معدلات مقياس (SDAS) عند z=2.5mm.....65
(6-14) الدندريت المتشكل بالقرب من قناة التبريد.....65
(6-15) الدندريت الخشن المتشكل بالقرب من منطقة البقع الساخنة في منطقة الاتصال...65
(6-16) الندريت المتشكل بدون وجود بذور تبلور مضافة.....66
(6-17) الدندريت المتشكل بوجود بذور تبلور مضافة.....66
(6-18) تأثير تسخين القالب في سيولة المصهور والأذرع الدندريتية المتشكلة.....67
(7-1) مخطط تقييم العجلات بطريقة السباكة بالضغط المنخفض.....69
(7-2) الأشكال العامة للعيوب السطحية (Surface Defect).....70
(7-3) الأشكال العامة للعيوب الداخلية (Internal Defects).....71
(7-4) الأشكال العامة للعيوب المرئية (Visible Defects).....72
(7-5) مجالات تبريد مسبوكة تبعا لدرجة الحرارة.....73
(7-6) مراحل تشكل الفجوات في المسبوكة.....73
(7-7) النماذج الشائعة للعقد المتشكلة من الاتصال الطولاني للجدران.....74
(7-8) مجال تشكل الكسور الساخنة.....77
(7-9) نماذج الكسور الساخنة hot tear.....76
(7-10) التشوه في المسبوكات.....77
(7-11) نظام الفحص الإشعاعي.....79
(7-12) صورة إشعاعية بأشعة (x) لعجلة مسبوكة من خليطة AL.....79

(7-13) مخطط (PARETO) لنسب العيوب تبعا لتردد أشعة الفحص.....80
(7-14) عيوب الثقوب الناتجة في مسابك عجلات الألمنيوم.....81
(7-15) عيوب المسامات الناتجة في مسابك عجلات الألمنيوم.....81
(7-16) المسامة الانكماشية الميكروية.....82
(7-17) المسامة الانكماشية الماكروية.....82
(7-18) المسامة الانكماشية في عجلة مصنوعة من خليطة الألمنيوم.....82
(7-19) عيب انكماشي في عينة مدروسة بواسطة أشعة X في منطقة الاتصال.....83
(7-20) مواقع عيوب (hot spot) وعيوب المسامات الانكماشية باستخدام أشعة X.....84
(7-21) الأذرع الدندريتية الخشنة في مواقع عيوب (hot spot) في منطقة الاتصال.....84
(7-22) الفجوة الانكماشية المتشكلة أثناء عملية التجمد.....85
(8-1) نماذج عينات الدراسة.....87
(8-2) البنى المجهرية للمناطق الحدية في الصناديق المسبوكة.....88
(8-3) البنى المجهرية للمناطق الحدية في الأغطية المسبوكة.....88
(8-4) نسب العيوب في 490 عجلة مسبوكة.....92
(8-5) نسب توزع عيوب الفقاعات في العجلات المسبوكة.....92
(8-6) نسب توزع عيوب الانكماش في العجلات المسبوكة.....93
(9-1) العجلة المدروسة وأبعادها بالميليمتر 95
(9-2) عملية التجزئة (mesh) على العجلة المرسومة.....96
(9-3) إدخال بارامترات الدراسة.....97
(9-4) إدخال بارامترات عملية الملء.....98
(9-5) منحي عملية الملء (الضغط – الزمن).....98
(9-6) توزع درجات حرارة المصهور ضمن العجلة خلال مرحلة الملء.....99

(9-7) أزمنة عملية ملء العجلة بالمصهور.....99

(9-8) مراحل عملية ملء القالب مع أزمنتها.....99

(9-9) أزمنة عملية تجمد المسبوكة.....100

(9-10) أزمنة عملية تجمد أجزاء العجلة المسبوكة.....100

(9-11) توزع درجات الحرارة ضمن العجلة المتجمدة.....100

(9-12) مناطق حدوث الانكماشات المحتملة.....101

(9-13) مخطط توضع أنابيب مياه التبريد في قالب سباكة العجلات.....102

(9-14) مناطق وجود القوى التبريدية.....103

(9-15) مناطق حدوث الانكماشات المحتملة باستخدام قنوات تبردية.....104

(9-16) تقليص حجم الانكماشات المحتملة بتعديل قناة التغذية.....104

(9-17) اختفاء الانكماشات بتوسيع قناة التغذية وتعديل منطقة hub 105

(9-18) عينات الدراسة العملية.....106

(9-19) مراحل تحضير العينات..... 107

(9-20) المناطق الحدية في العينات المدروسة.....107

(9-21) البنى الميكروية لمناطق العينة الأولى.....108

(9-22) البنى الميكروية لمناطق العينة الثانية.....110

(9-23) البنى الميكروية لمناطق العينة الثالثة.....111

فهرس الجداول Tables list

الجدول **الصفحة**

(1-1) الفوارق والمميزات مابين الطرق المتعددة بسباكة العجلات.....11

(2-1) المحتوى الكيميائي للعناصر المؤلفة لخلائط الألمنيوم–سيليكون.....12

(4–1) النقاط الحدية لتفاعلات خلائط AL–Si.....36

(4–2) الخواص الفيزيائية لخليطة الألمنيوم A356,0.....36

(5–1) محتوى الهيدروجين الممتص في المصهور تبعاً لزمن عملية التخلية.....50

(7–1) نسب الانكماش الحجمي أثناء عملية تجمد المسبوكات لبعض المعادن.....74

(8–1) محتوى المسامية في الأغطية المسبوكة.....74

(9–1) التحليل الكيميائي للعينات المدروسة.....113

Equations list فهرس المعادلات

المعادلة الرقم الصفحة

$w = 2 * r \int_0^{\frac{\pi}{2}} q * \cos\theta . d\theta$ ..... (Eq 2 − 1) 21

$q = q_{max} * \cos\theta$ ..... (Eq 2 − 2) 21

$q_{max} = \frac{2*w}{\pi*r}$ ..... (Eq 2 − 3) 21

$w_r = w_0 * \cos\left(\frac{\pi}{2} * \frac{\theta}{\theta_o}\right)$ ..... (Eq 2 − 4) 22

$w = b * \int_{-\theta}^{\theta} w_r * r_b \, d_\theta$ ..... (Eq 2 − 5) 22

$w = b * \int_{-\theta}^{\theta} w_0 * r_b * \cos\left(\frac{\pi}{2\theta_0} * \theta\right)$ ..... (Eq 2 − 6) 22

$w = 4 * b * r_b * \theta_0 * \frac{w_o}{b}$ ..... (Eq 2 − 7) 22

$w_o = \frac{w*\pi}{b*r_b*4*\theta_o}$ ..... (Eq 2 − 8) 23

$w_p = \pi(a^2 - r^2_f) * p_o$ ..... (Eq 2 − 9) 24

$T_f = \frac{w_p}{2*2*\pi*r_f} = (a^2 - r^2_f) * \frac{p_o}{4*r_f}$ ..... (Eq 2 − 10) 24

$\frac{(p_i - p_v)}{\rho} + \frac{(v^2_i - v^2_v)}{2} + g = 0$ ..... (Eq 3 − 1) 29

$p_i = p_v - \rho g h$ ..... (Eq 3 − 2) 29

$Fe_{crit} = 0.075 * [\%Si] - 0.05$ ..... (Eq 4 − 1) 42

$3H_2O + 2AL \longrightarrow 6H + AL_2$ ..... (Eq 5 − 1) 46

$2H \longleftrightarrow H2$ (gas bubble) ..... (Eq 5 − 2) 47

$Q = Q_S + Q_G + Q_R$ ..... (Eq 6 − 1) 53

$Q = h_c * A * \left(\frac{\Delta t}{x}\right)$ ..... (Eq6 − 2) 53

$t = c * s^2$ ..... (Eq 6 − 3) 54

$fluidity = \frac{\rho_s * h_m * r * v}{2K(T_m - T_o)}$ ..... (Eq 6 − 4) 55

$\Delta L = l_o - \alpha(t_s - t_o)$ ..... (Eq 7 − 1) 75

$\pm\sigma = \alpha * E * \Delta t$ ……(Eq 7 − 2) … … … … . . ….76

$P_g \geq P_0 + \rho_L gh + P_s + P_\sigma$……(Eq 7 − 3) …. . … … … … ….81

الإهداء و الشكر

لايسعني بعد أن منّ الله تعالى عليّ بإتمام هذه الأطروحة إلّا أن أهدي نجاحي هذا ....إلى أهلي وأصدقائي وأحبائي الذين ساندوني في مشروعي هذا....

وبالأخص إلى والدتي الغالية التي لن أنسى فضلها عليّ ماحييت...

و أتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء الهيئة التدريسية الأفاضل في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق- وكل من ساهم في إتمام هذه الدراسة، وأخص بالشكر أستاذي الفاضل الدكتور محمد مازن يعقوب (المشرف العلمي على الرسالة) الذي بذل جهداً كبيراً لإخراج الرسالة بأفضل مايمكن.

وأتقدم بالشكر والامتنان الكبيرين للمهندس ياسر محمد (مدير نقل محافظة دمشق).

كما أتقدم بالشكر للأستاذة فدوى الحاف.

وأخص بوافر الشكر والعرفان الأساتذة الكرام في قسم علم المواد وهندستها على ماقدموه لي من معلومات قيمة خلال دراستي في مرحلة الماجستير والشكر الأكبر للأساتذة الكرام الذين تفضلوا بقبول المشاركة في مناقشة هذه الرسالة.

الملخص:

تناولت هذه الاطروحة دراسة وتقييم إنتاج عجلات المركبات من خليطة الألمنيوم " A356" بطريقة السباكة بالضغط المنخفض (low pressure die casting) لما لهذه التقنية من أهمية في الحصول على منتجات عملية بنسب ضئيلة من العيوب وخاصة العجلات ذات أساس الألمنيوم.

لذا تمت الدراسة عبر الاستفادة من الدراسات المرجعية السابقة ومن التطبيقات الحاسوبية وعمليات المحاكاة من أجل رسم العجلة ودراسة بارامترات آلية إنتاجها وعن طريق إجراء التحليل الكيميائي والفحوصات العملية للبنية الميكروية على عينات مسبوكة مسبقاً ومدى تأثير نسب العناصر الداخلة في تركيبها من أجل تقييمها وكشف عيوبها.

وبالنتيجة تم الوصول للبارامترات المثلى للعملية من حيث (أزمنة عملية الملء والتجمد وأماكن العقد الحرارية وتوزع درجات الحرارة.....)، وتم تقييم البنى الميكروية المفحوصة مجهرياً من خلال العيوب الناتجة والأكثر مشاهدةً مثل (**shrinkage** – **inclusions** - **.....**) ودور المبردات الخارجية في تخفيض هذه العيوب.

أهمية ومبررات البحث :

تنبع أهمية هذا البحث أولاً من أهمية تقنية السباكة بالضغط المنخفض لخلائط الألمنيوم على المستوى العالمي والحصول على منتجات ذات نسب عيوب ضئيلة ومهملة ومردود عالي يصل إلى

%(95–85). وثانياً الحصول على منتجات مطلوبة ومستخدمة في حياتنا العملية كعجلات المركبات منطلقين من مبدأ مواكبة التطورات الحديثة.

حيث شغلت هذه التقنية أكثر من 70% من الأنواع الأخرى للعجلات والتي تعتمد في إنتاجها على مبدأ الطبعة (التشكيل) وعمليات اللحام,كما وأصبحت من أكثر الطرق الشائعة في انتاج القطع المتخصصة في صناعة الآليات.

أهداف ومشكلة البحث :

1 – دراسة طريقة السباكة بالضغط المنخفض (LOW PRESSURE DIE CASTING)

2 – دراسة خواص البنية لمسبوكات (LPDC) وأهمية هذه التقنية بناء على خواص البنية الناتجة.

3 – دراسة ضبط البنية المتجمدة من حيث وضعية قالب السباكة والحصول على عملية تجمد موجه ضمن المسبوكة الناتجة.

4 – دراسة مقياس الأذرع الدندريتية الثانوية المتشعبة (SDAS)(secondary dendrite arm spacing)

5 – إن المشكلة الوحيدة في موضوع البحث هي نشوء العيوب في منتجات هذه التقنية (المسامات الانكماشية والفقاعات الغازية والعناصر الشائبية الغريبة .....) ومايترتب على ذلك من إجراءات وتدابير لتلافي نشوء مثل هذه العيوب

الدراسة النظرية

Theoretical studyind

الفصل الأول

مبدأ تقنية السباكة

بالضغط المنخفض

low pressure die casting

1-1 لمحة تاريخية:

إن العجلات هي الأدوات التي تؤمن الحركة للأجسام على الأسطح عبر قوى تسمى قوى الدفع ، بدايةً كانت العجلات عبارة عن أقراص خشبية لاتملك القوة الكافية لتحمل قوى الوزن بدون أن تنهار مقارنة بالعجلات الفولاذية وعجلات ذات أساس الألمنيوم والمغنزيوم والتي تتألف فيها العجلة من منطقتي (rim and spoke) والتي سمحت بتطوير الأداء والوظيفة والتصميم.

العجلات ذات أساس الألمنيوم تبوأت المكانة الأكبر في قطاع صناعة العجلات، حيث في منتصف عام 1920 صنعت أول عجلة من خليطة الألمنيوم وبعد عشرون عام تقريباً 1940 أصبحت عجلات الألمنيوم والحديد المطروقة أو ماتسمى عجلات الطبعة (المصنعة بطريقة الحدادة)(Forged Al Alloy Wheels) هي العجلات الشائعة الاستخدام في وقتها، وفي نهاية عام 1960 أصبحت العجلات المسبوكة من خلائط الألمنيوم هي السائدة بشكل تام والمنتجة من قطعة واحدة (Single piece Al Alloy Wheels) مع ظهور العجلات المنتجة من عدة قطع (Multi piece Al Alloy Wheels)

عملية السباكة (casting procces): وهي عملية تشكيل أجسام معدنية تتم بصهر المعدن أو السبيكة وصبه في القالب المراد تشكيل المعدن فيه، وتركه يبرد ويتجمد ليأخذ بعد تجمده شكل فجوة القالب (cavity)[1]

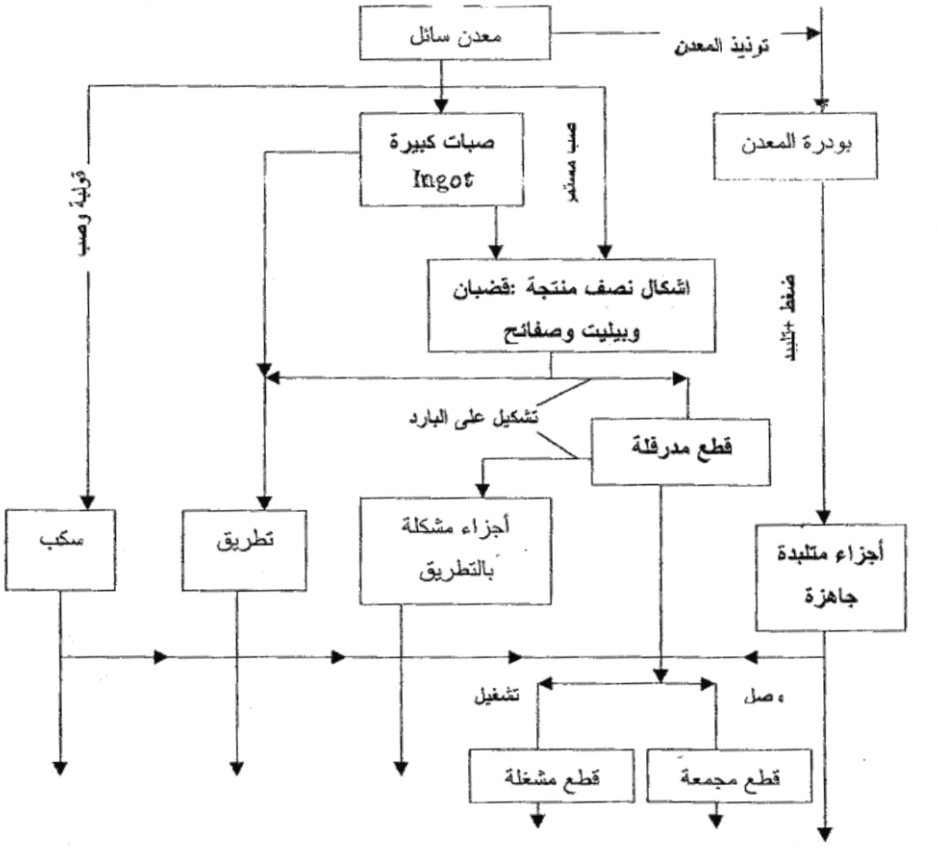
المسبوكة أو المصبوبة (acasting): هي تلك الأجسام المعدنية أو المنتجات التي تتشكل نتيجة صب المعدن المنصهر في القوالب **(dies-moulds)** المعدة سابقاً وتجمدها[2]

2-1 طرائق التصنيع[3]:

تعتبر عملية السباكة من أقدم الحرف الأساسية ولقد استخدمت فقط في تشكيل المعادن القليلة التي عرفها الإنسان قديماً مثل النحاس والبرونز. وقد أخذت هذه العمليات تتطور فيما بعد مع غيرها من الصناعات فتبوأت مكاناً مرموقاً كصناعة آلية ووصلت إلى مراتب جديدة وممتازة.

يبين الشكل (1-1) المخطط الهيكلي لطرائق التصنيع المختلفة:

[1] يعقوب ص 2
[2] يعقوب ص 6
[3] يعقوب ص 5



الشكل (1-1) مخطط يوضح طرائق التصنيع المتنوعة

3-1 <u>مميزات ومساوئ عملية االسباكة</u>: تمتاز عملية السباكة عن باقي عمليات التصنيع الأخرى بالمميزات التالية [4]:

1 – إمكانية صب الأشكال المعقدة ونتيجة لذلك تقل عمليات التشغيل الأخرى كالزعانف

2 – سكب بعض الخلائط المعدنية القاسية والتي لايمكن تشغيلها أو تشكيلها

3 – سهولة التصنيع للقطع المعقدة التي قد يحتاج تصنيعها إلى قطع كثيرة أو تشغيل كثير مثل علب تغيير السرعة المستخدمة في وسائط النقل والآلات

4 – تتميز السباكة بالانتاجية الكبيرة و في الغالب وتعتبر أرخص طرائق الإنتاج بالجملة

5 – يمكن صب القطع المعدنية الثقيلة مثل أجسام محركات الديزل المستخدمة في السفن والتي يمكن أن تصل لمئات الكيلوغرامات، وكذلك القطع خفيفة الوزن التي تزن بضع غرامات

6 – الحصول على بعض الخواص الجيدة للمسبوكات من حيث مايلي:

[4] يعقوب ،ص6

– القابلية للتشغيل بالآلات والقدرة على امتصاص الاهتزازات

– باستخدام التصميم الجيد لقالب و استخدام طريقة السباكة المناسبة وعند التحكم بتجمد المعدن المسبوك نحصل على مسبوكات ذات خواص ميكانيكية متماثلة في كل الاتجاهات وذلك مقارنة بالمطروقات ذات الخواص المختلفة بحسب اتجاه القوى المؤثرة والتي تخضع لعمليات ميكانيكية كالطرائق أو الدرفلة أو البثق.....الخ

7 – إمكانية تطوير عمليات السباكة آلياً وبرمجياً و إمكانية استخدام نظم التصميم والرسم باستخدام الكومبيوتر CAD (computer aided design) وكذلك إنتاج تلك النماذج بنظم CAM (computer aided manufacturing)

إن عيب عملية السباكة الوحيد هو انخفاض جودة سطح المسبوكات وعدم الدقة في أبعاد المسبوكات المنتجة وعادة يكون هذا العيب في المسبوكات المنتجة بطرائق السباكة التقليدية (الرملية مثلاً)، وبالمقابل ظهرت طرائق سباكة دقيقة (طريقة القالب القشري_ طريقة الشمع المهدور_ طريقة النموذج المتبخر....الخ) حيث تم الحصول على مسبوكات جيدة السطح وجيدة الأبعاد. [5]

4-1 الأنواع الرئيسية لعمليات الصب :

1 – الصب ضمن القوالب الرملية (sand casting)

2 – الصب ضمن القوالب المعدنية الدائمة (permanent metal mould)

3 – عمليات السباكة الدقيقة (precision casting)

5-1 الصب ضمن القوالب الرملية (sand casting):[6]

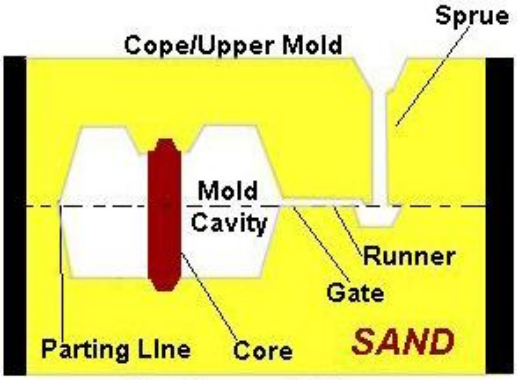
غالباً ماتستخدم عمليات الصب في قوالب رملية لإنتاج المسبوكات من قطعة واحدة معقدة الشكل أو كبيرة الحجم.

تتم هذه الطريقة باستخدام نماذج دائمة (permanent pattern) (المؤلف من جزء واحد أو أكثر) تطابق المنتج النهائي من خلال تشكيلها لطبعة أو مايسمى فجوة القالب

والشكل (1-2) يبين الأجزاء الرئيسية في قالب رملي:

[5] يعقوب،ص 7

[6] يعقوب، ص8



الشكل (1-2) الأجزاء الرئيسية للقوالب الرملية

6-1 عمليات االسباكة الدقيقة (precision casting):[7]

تستخدم السباكة الدقيقة لانتاج مسبوكات مطابقة بشكلها وأبعادها النهائية لشكل وأبعاد المشغولات المكتملة في حدود تسامحات ضيقة جداً، ومن أمثلة المصبوبات المنتجة بهذه الطريقة المصبوبات التي ينبغي عدم تشغيلها ميكانيكياً (وذلك لصعوبة تشغيلها نظراً لمتانتها المرتفعة وخاصة إذا كانت معقدة الشكل كريش العنفات الغازية) أو الاقتصار على تشطيب أسطحها بالتلميع فقط.

أهم طرائق السباكة الدقيقة هي التالية:

1 – السباكة في القوالب القشرية (shell moulding)

2 – الصب باستخدام نماذج الشمع المهدور (lost wax pattern)

3 – الصب بالقالب الكامل أو النموذج المتبخر (lost foam pattern) (full mould casting)

4 – القولبة بالجبس (plaster moulding)

5 – القولبة بالسيراميك (ceramic moulding)

6 – القولبة بالخلاء (vacuum moulding) (v-process)

7-1 الصب في القواالب المعدنية الدائمة (permanent metal mould):

في هذه الطريقة يستخدم نفس القالب لانتاج عدد كبير من المسبوكات وفي كل عملية سباكة تحرر المسبوكات بفتح جزأي القالب بدون تحطيمه.

[7] يعقوب ،ص 71

يجب أن تصنع القوالب الدائمة من مواد تتحمل تغيرات درجة الحرارة المرتفعة وتقاوم الاهتراء الناتج عن الاستخدام المتكرر لعمليات السباكة لذا فإن تكاليف صناعة القالب مرتفعة وهذا يعني أن الصب في القوالب الدائمة غير اقتصادي للانتاج منخفض العدد والمسبوكات كبيرة الحجم.

ممكن أن تسكب البوليمرات في قوالب معدنية وأيضاً المعادن ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة يمكن أن تسكب في قوالب ذات درجة حرارة انصهار مرتفعة (فمثلاً يصب الزنك والألمنيوم في قوالب فولاذية).[8]

القوالب المعدنية: وهي عبارة عن قوالب دائمة تستخدم لسباكة أعداد كبيرة من المسبوكات، ولإطالة عمر قالب السباكة نخفف من الصدمة الحرارية المؤثرة على سطح القالب بإحماء القالب إلى درجة حرارة مناسبة للمعدن المصبوب وبطلاء السطح العامل للقالب بمواد خاصة مقاومة للحرارة لكي لا تلتصق المسبوكة به، وبحسب درجة تعقيد المسبوكة يمكن أن يكون القالب المعدني مؤلفاً من قطعة واحدة أو قطعتين أو أكثر ويمكن أن يكون سطح الفصل أفقي أو شاقولي أو مائل أو مركب.

تتولد في القالب المعدني عند عملية الصب غازات ناتجة عن طلاء سطح القالب وعن الهواء المزاح من تجويف القالب حيث يتم إخراج هذه الغازات عن طريق سطح الفصل بأقنية تهوية وتنفيس.

تنظم درجة حرارة القالب المعدني إما بالتبريد الطبيعي أو بالتبريد القسري إما بنفخ الهواء أو بجريان الزيت أو الماء خلال مجرى موجود ضمن معدن القالب [9]

8-1 أنواع عمليات السباكة بالقوالب المعدنية: [10]

- **السباكة بالقوالب المعدنية التي تعمل بالثقالة (gravity die casting)**:في هذه الطريقة يتم إملاء فجوة القالب بتأثير ثقالة المعدن، ومن أمثلة مسبوكات هذه الطريقة مكبس محرك السيارة و المصبوب من خليطة الألمنيوم.
- **السباكة بالقوالب المعدنية التي تعمل بالضغط (pressure die casting)**: تتم السباكة بالضغط بدفع المعدن المصهور إلى داخل فجوة القالب الفولاذي بسرعة كبيرة وتحت تأثير ضغط

[8] عازار،ص3-7
[9] يعقوب،ص44-45
[10] يعقوب،ص46-65

عالي، تقسم آلات السباكة بالضغط إلى آلات سباكة بالضغط ذات الحجرة الساخنة (وتستعمل لسباكة الخلائط المعدنية التي لا تتفاعل مع معدن غرفة الضغط المغمورة في المعدن المصهور بضغط لايتجاوز 150 bar) و آلات السباكة بالضغط ذات الحجرة الباردة بضغط يتراوح مابين

bar(300-1600) (تستعمل للمعادن التي تتفاعل مع معدن غرفة الضغط مثل معدن الألمنيوم حيث يتفاعل الألمنيوم المصهور مع الفولاذ، كما وتستعمل للمعادن الغيرحديدية ذات درجة حرارة الانصهار المرتفعة)

- **تقنية السباكة بالضغط المنخفض (low pressure die casting):** وسيتم شرح هذه التقنية بشكل مفصل ضمن هذه الدراسة
- **السباكة بالضغط المباشر(العصر) (squeeze casting)** : يصب المعدن المصهور إلى داخل القالب ذو الجزئين المنفصلين وبعد ذلك بحركة الجزء المتحرك من القالب يطبق الضغط المباشر ويحدث تجمد المسبوكة تحت تأثير الضغط . حيث يطبق هذا الضغط على المعدن المصهور عند الزمن المناسب والذي يبدأ فيه المعدن بالتجمد عند سطح التلامس مع القالب المعدني ويجب أن يكون زمن تطبيق الضغط كافياً بحيث يحدث التجمد بشكل كامل دون أي فجوات هوائية ضمن المسبوكة
- **السكب بالطرد المركزي (centrifugal casting)**: تتم السباكة بالطرد المركزي بصب المعدن المصهور إلى داخل القالب الدوار حيث يدفع المعدن النظيف نحو مركز القالب الدوار بواسطة قوة الطرد المركزي إلى محيط هذا القالب بينما تبقى الشوائب الأخف وزناً عند مركز القالب، والمسبوكات المنتجة بهذه الطريقة كثيفة وخالية من المسامية وذات متانة جيدة.
- **السكب المستمر (continuous casting)**: تستخدم طريقة السباكة المستمرة لسكب المعدن مباشرة إلى عروق (بيليت billet) معدنية حيث تتم عملية السباكة المستمرة بصب المعدن المصهور بشكل مستمر ضمن قالب مصنوع من النحاس ومبرد بشكل سريع ومفتوح، حيث عندما يغادر المعدن قاع القالب تكون قد تشكلت قشرة صلبة للمعدن المتصلب نتيجة التبريد السريع للقالب.

تستخدم هذه الطريقة للمعادن غير الحديدية وللفولاذ ويمكن إنتاج المقاطع المستديرة والمربعة والمجوفة والصفائح بحيث الشكل الداخلي للقالب يماثل المقطع العرضي للمسبوكة المطلوبة.

- **السكب بالقطب المنصهر (electro slag casting)**: تعتمد هذه الطريقة على مبدأ اللحام بالقوس الكهربائي حيث تتم العملية باستخدام قالب فولاذي مبرد بالماء والذي يقوم بعمل وحدة الصهر، تنتج الحرارة من مرور التيار الكهربائي بين الأقطاب والقالب وذلك عبر الخبث الناقل للكهرباء وحيث ينصهر القطب عندما ترتفع درجة الحرارة فوق درجة حرارة انصهاره ويسيل المعدن عبر الخبث إلى حوض المعدن المصهور في فجوة القالب .

تمكن هذه الطريقة من إنتاج المسبوكات معقدة الشكل مثل عمود المرفق وذراع التوصيل وجسم الصمامات

9-1 تقنية السباكة بالضغط المنخفض (low pressure die casting):

إن تقنية السباكة بالضغط المنخفض LPDC من أكثر العمليات المناسبة في مجال صناعة القطع الداخلية لمحركات المركبات بالاضافة للعجلات، حيث يمكن أن تصل أوزان مسبوكات هذه الطريقة لحوالي 80kg والشكل (1-3) يوضح بعض منتجات هذه الطريقة

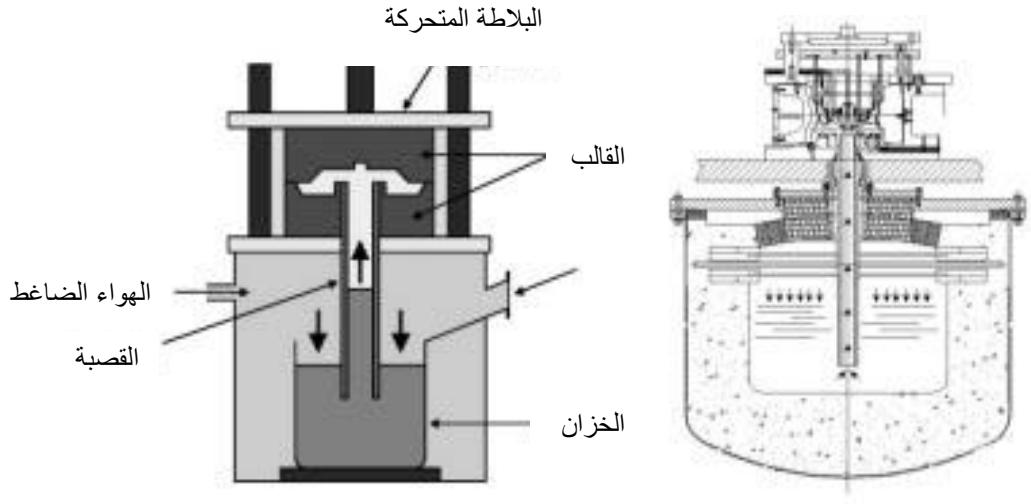
الشكل (1-3) بعض منتجات تقنية السباكة بالضغط المنخفض

الشكل (1-4) نموذج لآلة سباكة بالضغط المنخفض

1-9-1 مبدأ هذه التقنية:[11]

تقوم هذه التقنية على املاء فجوة قالب" cavity" موجود في الأعلى بالسائل المعدني المصهور ضمن فرن صهر والموجود في الأسفل، حيث تبدأ العملية بتسليط ضغط هوائي ضمن حجرة خزان المصهور بحدود (0.3-1.5bar) وبسبب زيادة الضغط (فرط الضغط) ضمن هذه الحجرة يرتفع السائل المصهور ليملأ فجوة القالب الدائم المعدني المبرد عبر انبوبة صاعدة بينهما (قصبة سيراميكية stalk) ويبقى هذا الضغط الهادئ مستمراً طيلة فترة عملية التجمد، وحالما تمتلئ الفجوة يزال الضغط الزائد من الفرن والمعدن المتبقي يعود للفرن مجدداً، وبعدها يتجمد السائل المصهور ضمن القالب المغلق عن طريق انتقال الحرارة منه وعبر القالب للمحيط الخارجي، وبعد اكتمال عملية التجمد يتم فتح القالب وتلفظ المسبوكة كما يبين ذلك الشكل (1-5)، مع الانتباه الى أن المنطقة الكبيرة الحجم في المسبوكة يجب أن تكون آخر جزء يتجمد وقريبة من القصبة والتي تعتبر حينها كمغذي وهمي.

كما ويجب التنويه إلى أن الضغوط العالية تسبب اضطرابات جوية لذا نعرض بداية المعدن لضغط هادئ منخفض ومن ثم تتم زيادته بشكل متدرج. [12]



شكل (1-5) يوضح مبدأ عملية السباكة بالضغط المنخفض

والمهم في هذا الموضوع هو تخفيض الاضطراب الحاصل خلال عملية ملء فجوة القالب والتأكد من تمام ملء القالب لأن الاضطراب يؤدي لتشكل فقاعات غازية وأكاسيد غريبة في المسبوكة الناتجة وبالتالي تصبح المسبوكة معيوبة وغير صالحة للاسخدام بسبب انخفاض خواصها الميكانيكية، لذا

[11] Maijer، p295
[12] Urban et al، p24

يجب أن تتم عملية الملء بشكل صحيح وبسرعة بطيئة محققة موازنة مابين تخفيض الاضطراب الحاصل ومابين فقدان المصهور لحرارته أثناء ملئه فجوة الفالب وبالتالي انخفاض سيولته.

10-1 طرائق سباكة االعجلات:

إن عجلات المركبات هي المكون الذي يدعم الإطار الكاوتشوكي ويحضنه، وأحياناً يطلق عليها اسم (rim) وعموماً يوجد نوعين أساسيين من مصانع عجلات المركبات هما العجلات الفولاذية وعجلات ذات أساس الألمنيوم، حيث تنتج وفق إحدى عمليات السباكة التالية:

السباكة التثاقلية (gravity casting) أو السباكة بالضغط المنخفض(LPDC) (low pressure die casting) أو السباكة بالضغط المرتفع (high pressure die casting) أو السباكة بالعصر (squeeze casting)[13].

والجدول التالي (1-2)[14] يوضح الفوارق مابين هذه الطرائق من حيث وزن المسبوكات، عدد المنتجات سنوياَ، تكلفة الأدوات، كلفة التعديلات، تفاصيل التصاميم، أرق سماكة ممكنة، دقة الأبعاد النهائية، خشونة الأسطح، الخلائط السبائكية، الاضافات الخاصة:

جدول (1-1) يوضح الفوارق والمميزات مابين الطرائق المتعددة بسباكة العجلات

	Plaster casting	Sand casting	Shell mould casting	Gravity die casting	Low pressure die casting	Pressure die casting
Weight of the casting, kg	0.1...25	0.1...150	0.01...20	0.01...50	1...70	0.01...30
Annual volume	1...500	1...5000	500...10 000	100...50 000	100...10 000	1000...1 000 000
Pattern/tooling cost	Low/moderate	Relatively low	Relat low/moderate	Moderate	Moderate	High
Cost of changes	Relat.low/ moderate	Low	Relat.low/ moderate	Moderate	Moderate	High
Flexibility of design	High	Very high	High	High	Relatively high	Relatively high
Minimum wall thickness, mm	1...3	4...6	2...4	2...3	3...4	0.8...1.5
Dimension accuracy	Good	Fairly good	Good	Good	Good	Very good
Possible surface roughness, Ra	≥2.5(1.6)	≥6.3	≥3.2	≥3.2(2.5)	≥3.2	≥1.6(0.8)
Casting alloys	GS-AlSi12 GS-AlSi10 Mg GS-AlSi7 Mg	GS-AlSi12 GS-AlSi10 Mg GS-AlSi7 Mg	GS-AlSi12 GS-AlSi10 Mg GS-AlSi7 Mg	GK-AlSi12 GK-AlSi10 Mg GK-AlSi7 Mg	GK-AlSi12 GK-AlSi10 Mg	GD-AlSi8Cu3Fe GD-AlSi12 GD-AlSi10Mg GD-AZ91HP(Mg) GD-ZnAl4Cu1 (Zn)
Special features	Also with sand cores	Also heat-treated	Also with sand cores and heat-treated	Also with sand cores and heat-treated	Also heat-treated	Not heat-treatable

[13] Voort&p1،Lozano
[14] P13،ÇETİNEL

1-10-1 طريقة السباكة التثاقلية (gravity die casting):[15]

وهي إحدى طرائق السباكة ضمن القوالب بدون تدخل ضغوط خارجية، ويعتبر عنصر المغنزيوم (Magnesium) من أهم العناصر التي تناسب طريقة السباكة التثاقلية، حيث تتم العملية بداية برش مادة طبشورية (chalk) داخل القالب الفولاذي لمنع التصاق المغنزيوم معه ويسخن المصهور باستمرار خلال العملية للمحافظة على حرارته وسيولته ضمن بوتقة خاصة ومحكمة الإغلاق لمنع تماسه مع الأكسجين الجوي O_2 لإثباط أي احتمال لحدوث انفجار، ويفضل أيضاً تغطية سطح القالب بغاز (SO_2) الخامل مما يمنع حدوث تفاعل الانفجار ويحافظ على سطح معدني لماع.

2-10-1 طريقة السباكة بالضغط المنخفض (low pressure die casting):

إن شركات صناعة المركبات تميل بتوسعها لانتاج قطع ذات جودة عالية وبأوزان خفيفة، لذا كان الاختيار هو خلائط الألمنيوم في عمليات السباكة لمعظم مكونات المركبات والتي صنعت سابقاً من مادة الفولاذ أو حديد الصب وخير مثال على ذلك صناعة العجلات، ومن الشركات الرائدة في هذا المجال هي شركات نيوزلندا (ION) وشركة (gima company)[16] حيث أصبح أكثر من 70% من المركبات الجديدة عالمياً مجهزة بعجلات من سبائك الألمنيوم والمصنعة بطرائق السباكة بالضغط المنخفض لخلائط الألمنيوم _ سيليكون (A356.0) والمبينة نسبها كما في الجدول التالي (1-2)[17] :

جدول (1-2) المحتوى الكيميائي للعناصر المؤلفة لخلائط الألمنيوم _ سيليكون

Element	319.0	333.0	354.0	356.0	A356.0	357.0
Silicon	5.5-6.5	8.0-10.0	8.6-9.4	6.5-7.5	6.5-7.5	6.5-7.5
Iron	1	1	0.2	0.6	0.2	0.15
Copper	3-4	3.0-4.0	1.6-2.0	0.25	0.2	0.05
Manganese	0.50	0.50	0.10	0.354	0.10	0.03
Magnesium	0.10	0.50	0.40-0.60	0.20	0.25-0.45	0.45-0.60
Chromium	0	0	0	0	0	0
Nickel	0.35	0.50	0	0	0	0
Zinc	1.00	1.00	0.1	0.35	0.1	0.05
Titanium	0.25	0.25	0.20	0.25	0.2	0.20
All others	0.50	0.50	0.20	0.20	0.2	0.20
aluminum	remainder	remainder	remainder	remainder	91%	Remainder

[15] S Sotome،Sakoda p57
[16] Lee،p1
[17] Timelli et al ،p1061

والمخطط التدفقي التالي (1-6) يوضح آلية تصنيع العجلات بطرائق السباكة الحديثة حيث يتوضح أن العملية تتم بالمراحل الرئيسية التالية :

1 – تحضير المصهور المعدني (صهر خليطة الألمنيوم _ عملية التخلية من الغازات الضارة وخاصة غاز الهيدروجين الشديد الانحلال في الألمنيوم)

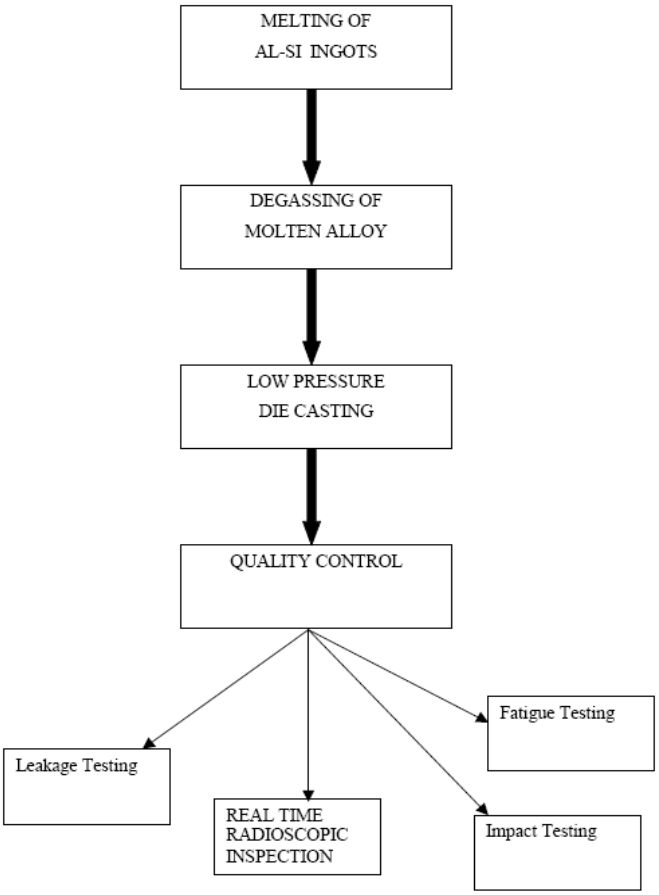
2 – عملية سباكة المعدن المصهور بتقنية السباكة بالضغط المنخفض

3 – تجمد المسبوكة

4 – عمليات التشغيل اللاحقة

5 – عمليات الطلي والبخ

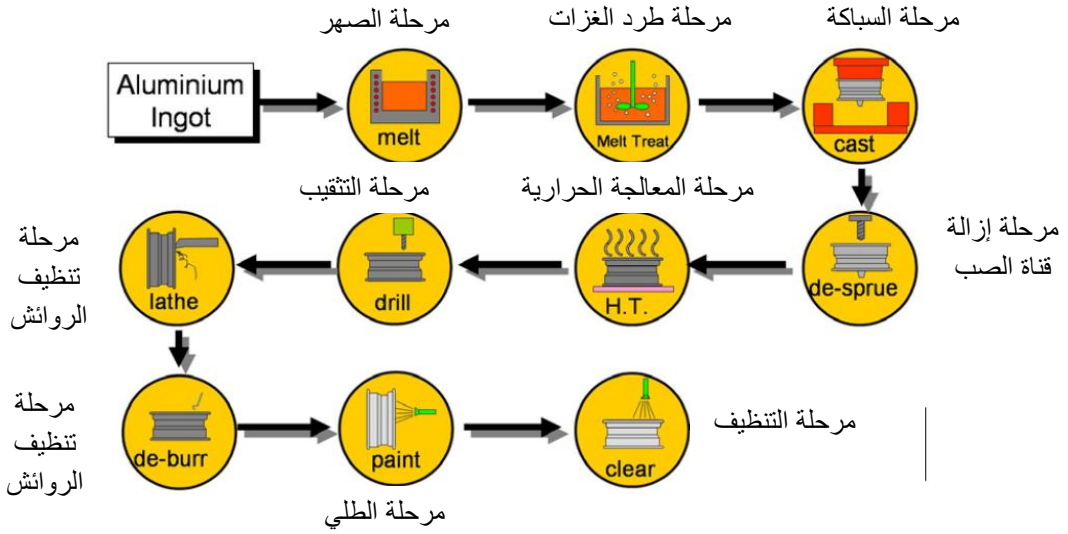
6 – الفحص الاشعاعي (.....x-ray) للمنتج النهائي والاختبارات المجراة (الصدم _ التسريب _ التعب) من اجل كشف العيوب وبيان قبول المنتج أم رفضه[18]



مخطط (1-6) يوضح مراحل سباكة العجلات بطريقة LPDC

[18] ÇETİNEL، p13-15

والمخطط التالي (1-7) يبين انتاج عجلات الألمنيوم بطريقة السباكة بالضغط المنخفض مع عمليات التشغيل اللاحقة[19]:



الشكل (1-7) مراحل إنتاج عجلة مسبوكة

حيث يتم تحضير المصهور المعدني بصهر السبائك والتي تكون على شكل كتل معدنية (ingots) بتأثير فرن صهر لدرجة حرارة (725 C^o) وتجرى عملية تخلية من الغازات الضارة (degassing) وبعدها تتم عملية الصهر مجدداً مع الإضافات المناسبة، ومن ثم تبدأ عملية السباكة بتسليط ضغط هادئ عمودي على سطح المصهور ضمن حجرة الخزان بحدود (0.5-1.5bar) وبسبب زيادة الضغط (فرط الضغط) ضمن هذه الحجرة يرتفع السائل المصهور ليملأ فجوة القالب المعدني الدائم المصنوع من الفولاذ H13 والمسخن لدرجة ممكن أن تصل إلى (250 C^o) عبر انبوبة صاعدة بينهما (قصبة سيراميكية stalk)، وتتم عملية تجمد المسبوكة عن طريق انتقال الحرارة من المعدن المسبوك وعبر القالب المبرد إلى المحيط الخارجي، وبعد اكتمال عملية التجمد يتم ابعاد جزأي القالبين الجانبيين أفقياً ومن ثم القالب العلوي بشكل عمودي للأعلى أما المسبوكة فتبقى معلقة ضمن القالب العلوي ليتم لفظها فيما بعد، ويغلق القالب من جديد لتعاد العملية من جديد.

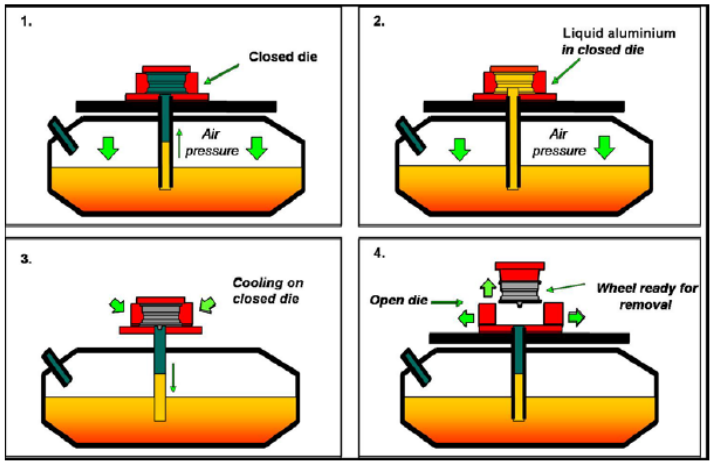
وتأخذ هذه العملية مايقارب (5-6) دقائق لإنتاج كل عجلة ضمن التسلسل التالي[20]:

- عملية ملء القالب وتستهلك زمن (17sec) بضغط (0.5bar) تقريباً

[19] Lee، p1-2
[20] Timelli et al، p1061-1062

- زيادة الضغط حتى حدود (1 bar) لمدة (250sec) تتم خلالها عملية التجمد وتستهلك حوالي (50sec)، والتبريد حوالي (200sec)
- إيقاف الضغط الهوائي لمدة (5sec)، وخلال هذه الفترة تكون عملية التجمد قد اكتملت
- عملية فتح القالب الجانبي وتستهلك (5sec)، وفتح القالب العلوي وتستهلك (10sec)
- عملية لفظ المسبوكة ومن ثم عملية غلق القالب ومعاودة العملية من جديد وتستهلك (30sec)

والشكل (1-8) يبين المراحل الرئيسية لحركة قالب السباكة مع تمثيل المكونات الرئيسية للآلة[21] :



الشكل (1-8) المراحل الرئيسية لحركة قالب سباكة العجلات بطريقة LPDC

3-10-1 مميزات عملية السباكة بالضغط المنخفض (LPDC):

1 – هذه التقنية لا تحوي صاعد أو قنوات تغذية للمعدن المصهور لذا فالهدر شبه معدوم والمردود يتجاوز 95%

2 – الإنهاء السطحي الممتاز، والخلو من الفقاعات الغازية ماأمكن وذلك بسبب الضغط المنخفض الهادئ على المعدن المصهور وعملية التغذية و الملء الهادئ بدون اضطرابات

3 – الحصول على مسبوكات ذات أداء صدمي وتعبي ممتازين

4 – تخفيض كلفة عمليات التشغيل بسبب دقة أبعاد المنتجات مقارنة بالطرائق الأخرى ولكن ماتزال الحاجة لعمليات التهذيب البسيطة

[21] Lee، p4

5 – إمكانية ضبط بارامترات العملية بشكل سهل وإمكانية أتمتة الآلية

6 – دقة البنية الميكروية الناتجة بسبب عملية الملء المتجانس وإمكانية ضبط بارامترات عملية التجمد (التجمد يمتد من الحواف نحو المركز) وبالتالي الحصول على خواص ميكانيكية عالية

7 – إمكانية تطبيق تصاميم وأحجام متعددة ومتنوعة ومعقدة

8 – إمكانية إنتاج مسبوكات ذات مقاطع رقيقة جداً

4-10-1 الفرق مابين الألمنيوم والمغنزيوم والفولاذ في مسبوكات العجلات:

1 – من ميزات سبائك الألمنيوم هو معامل الانتقال الحراري الأفضل مقارنة من السبائك الفولاذية بالأضافة إلى قدرة عجلات الألمنيوم على تبديد الحرارة الناتجة عن المكابح مما يطيل عمر هذه المكابح بشكل أكبر[22]

2 – من مساوئ العجلات الفولاذية أنها أثقل بالوزن من عجلات الألمنيوم والمغنزيوم وبما يعادلها بالقياس، لأن كثافة الألمنيوم تقريباً ثلث كثافة الفولاذ وبالنسبة لأربعة عجلات في كل مركبة الوزن ينخفض بمقدار kg(8÷4) بالتالي فهي أقل استهلاكاً للوقود بنسبة تقريبية 7%

3 – عجلات الألمنيوم والمغنزيوم لها أداء أفضل في عملية التسيير والسرعة من العجلات الفولاذية لأنها أخف وزناً وتسارعها أكبر ومسافة كبحها أقصر

4 – إن الألمنيوم يناسب هذه الطريقة أكثر من المغنزيوم لأنه غير شره وسريع التفاعل مع الأكسجين الجوي مثل المغنزيوم

5 – قابلية الألمنيوم على تمثيل الأشكال المعقدة بشكل أكبر من المغنزيوم

6 – عجلات الألمنيوم لها أداء أفضل من باقي العجلات الأخرى فهي ألطف في استقبال الصدمة وامتصاصها ودقة توازنها

7 – عجلات الألمنيوم ذات مقاومة ممتازة للصدأ، مما يلائمها مع الأجواء المتعددة

8 – عجلات الألمنيوم لها مظهر رائع وبريق وزهو وجاذبية أكثر

[22] p1،FALIQFARHAN

الفصل الثاني

دراسة أجزاء العجلة

المسبوكة والقوى المؤثرة

عليها

2-1 <u>أنماط عجلات خلائط الألمنيوم</u>: يوجد ثلاثة أنماط لعجلات الألمنيوم وهي [23] :

1 – forged Al alloy wheel (stamped): وبشكل عام يستخدم هذا النوع في الشاحنات وناقلات البضائع المتوسطة الحجم والثقيلة حيث تصنع من قطعة واحدة من خليطة الألمنيوم وتتميز هذه العجلات بأنها تتحمل أحمال كبيرة وتوفر في استهلاك الوقود لأنها خفيفة الوزن الشكل (2-1):

الشكل (2-1) نمط العجلات المصنعة بطريقة الحدادة

2 – single piece alloy wheels: وهو النمط الشائع للعجلات و التي تنتج بطرائق السباكة وتمتاز بخفة الوزن والتكلفة المنخفضة نسبياً، وتستخدم في مركبات الركاب المعروفة والمركبات الرياضية بالإضافة للشاحنات صغيرة الحجم كما يبين ذلك الشكل (2-2):

الشكل (2-2) نمط العجلات المصنعة بطريقة السباكة من قطعة واحدة

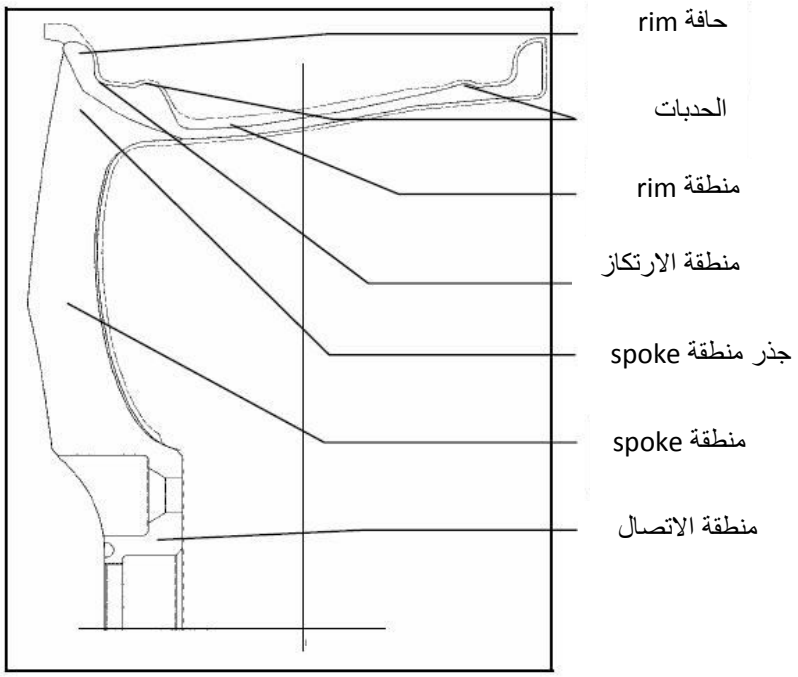
3 – multi piece alloy wheels: تصنع من مكونين أو أكثر (حافة rim وتعطى تدويراً خفيفاً ثم يتم لحمها مع القرص المسبوك) كما يبين الشكل (2-3):

الشكل (2-3) نمط العجلات المصنعة بأكثر من قطعة

[23] ÇETİNEL، p8-10

2-2 الأجزاء الرئيسية في العجلات المسبوكة:

يبين الشكل (2-4) المناطق الرئيسية للعجلة المدروسة وهي[24]:



الشكل (2-4) المناطق الرئيسية للعجلة المدروسة

hub: وهي وصلة بينية مابين مركز المحور القائد للعجلة، وهذا الجزء يحوي على فتحة تؤمن سهولة تثبيت العجلة على محور المركبة

Wheel disc or spokes: وهو الجزء الذي ينقل جميع الأحمال

Rim flange or lips: هذه الحافة من أجل حفظ الإطار الكاوتشوكي وتعمل أيضاً كضلع قوة (دعامة) لحماية العجلة ضد أحمال الصدم. بالاضافة للقوى الناتجة عن الضغط الهوائي الداخلي

Bead seat: وهي المنطقة التي ترتكز عليها حافة الإطار الكاوتشوكي

Humps: هذه الحدبات تضمن بقاء الإطار الكاوتشوكي ضمن منطقة rim flange

Rim well: هذه المنطقة لتسهيل تركيب وفك وخضن وسند الإطار الكاوتشوكي كما أنها تؤمن مكان لفتحة صمام الهواء

[24] p3-4،FALIQFARHAN

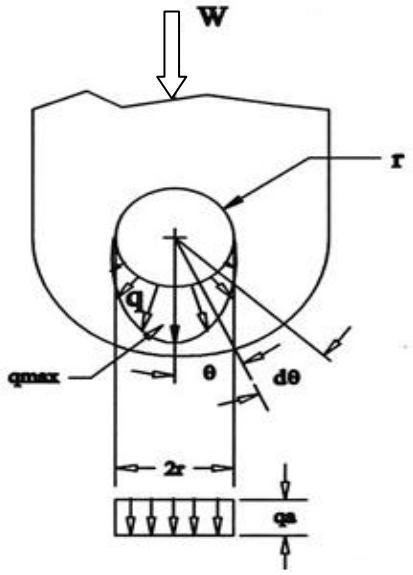
2-3 الدراسات النظرية لطرائق تحميل العجلات:

2-3-1 مقدمة: في هذه الفقرة سوف نسلط الضوء على طرائق تحميل العجلات بالقوى المؤثرة عليها (تأثير وزن المركبة) من أجل الوصول للإجهادات الناشئة في مواضع العجلة المختلفة، والتي من أهمها منطقة rim والذي يستوجب من العجلة حينها أن تحافظ على سلامتها دون أن تتشوه أو تتصدع، لذا فإن هذه الإجهادات هي التي تحدد الحياة التعبية للعجلة المسبوكة تحت الأحمال القطرية.

إن تمثيل ونمذجة منطقة الاتصال مابين الإطار الكاوتشوكي ومنطقة rim أمر معقد جداً ويتم تحليل هذه النمذجة بعلاقة غير خطية في جزء الإطار (tire portion) وبإجهاد ستاتيكي خطي في منطقة rim، والعامل المشترك مابين هذين المكونين هو منطقة التلامس سابقة الذكر وهو موضوع دراستنا في هذا البحث، وهذه الدراسة أنجزت من قبل شركة (good year tire).

2-3-2 طريقة (eye bar analogy) في تحميل العجلات: [25]

افترضت هذه الطريقة أن منطقة الاتصال مع منطقة rim امتدت لنصف الإطار تقريباً أي بزاوية 90^o حول منطقة تطبيق الحمل بالتناظر حول جانبي المركز. وإن طريقة التحميل هذه مشابهة للقضبان الاسطوانية في الشوك المفصلية.



الشكل (2-5) مخطط طريقة eye bar analogy في دراسة تحميل العجلات

[25] Stearns، p45-47

سوف نمثل في هذه الطريقة قضيب اسطواني Round rod تحت قوى متوازنة كما هو مبين بالشكل (2-5) حيث:

r: نصف قطر الثقب (نصف قطر منطقة bead seat) وبتقريب مقبول هو مساوي لنصف قطر الوتد

W: الحمل الخارجي المنقول θ: المسافة الزاوية q_{max}: أعظم حمل جزئي

المكونات الأفقية تفني بعضها البعض من الجهتين، والمكون العمودي يرتبط مع الحمل الخارجي

$$w = 2 * r \int_0^{\frac{\pi}{2}} q * \cos\theta . d\theta \qquad (Eq\ 2-1)$$

حيث:

$$q = q_{max} * \cos\theta \qquad (Eq\ 2-2)$$

وبالتعويض وإجراء التكامل $(0 \rightarrow \pi/2)$

$$\boxed{q_{max} = \frac{2*w}{\pi*r}} \qquad (Eq\ 2-3)$$

وبتعويض W=10400N ، r=202mm في (5):

$$q_{max} = \frac{2*w}{\pi*r} = \frac{2*10400}{3.14*202} = 32.8\ \frac{N}{mm}$$

وبتقسيم q_{max} على عرض مقطع eye bar فتكون النتيجة هي قيمة الإجهادات الضاغطة في منطقة bead seat وبتعويض b=19.8mm عرض منطقة bead seat نجد:

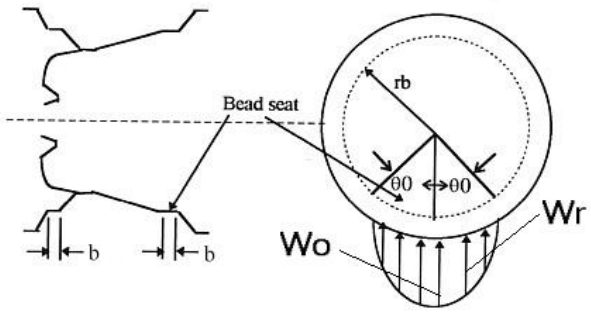
$$\frac{q_{max}}{b} = 1.656\ \frac{N}{mm^2} = 1657Kpa \quad \left(\text{قيمة الإجهادات الضاغطة في منطقة bead seat}\right)$$

2-3-3 الدراسة تحت تأثير الحمل القطري (analysis under radial load):

إن أساس هذه الطريقة يعتمد على أن الوزن الإجمالي للمركبة يوازن بقوة رد الفعل العمودية على أرض الطريق عبر الإطار الكاوتشوكي، وهذه القوة تضغط بشكل قطري على العجلة ولكن مادامت العجلة في حالة حركة دورانية فحينها يصبح الحمل القطري عبارة عن حمل دوري مع دوران العجلة وتبعاً لمنظمة (SAE) فإن العجلة يجب أن تحافظ على بنيتها وشكلها دون حدوث تشوهات لدنة أو تصدعات ولأكثر من $4*10^9$ دورة تحت الحمل القطري المؤثر (w) وبناءً على ذلك يتحدد الإجهاد

المؤثر في منطقة rim مع الأخذ بعين الاعتبار شروط منطقة التلامس والتي تسمى بمنطقة (bead seat) مابين منطقتين هما rim well و discs spoke وأهم شروط هذه المنطقة أن تكون خالية من المسامات الانكماشية والفراغات خوفاً من إضعافها، كما أن سماكتها يجب أن تساوي مجموع ثخانتي منطقتي rim and spoke.

وبإجراء الحسابات اللازمة و بافتراض أن توزع الضغط يكون بشكل تجيبي في منطقة bead seat وبزاوية 40^{o} عن جانبي مركز العجلة كما يبينه الشكل (2−6):



الشكل (2−6) مخطط طريقة الحمل القطري في دراسة تحميل العجلات

إن توزع الضغط يرمز له Wr بحيث:

$$w_{\mathrm{r}=} w_0 * \cos\left(\frac{\pi}{2} * \frac{\theta}{\theta_o}\right) \qquad (\mathrm{Eq}\ 2-4)$$

والحمل القطري الإجمالي يكون حسب المعادلة (Eq 2 − 7) كالتالي:

$$w_{=} b * \int_{-\theta}^{\theta} w_{\mathrm{r}} * r_b \, d_\theta \qquad (\mathrm{Eq}\ 2-5)$$

وبالتعويض نجد:

$$w_{=} b * \int_{-\theta}^{\theta} w_0 * r_b \ * \cos\left(\frac{\pi}{2\theta_0} * \theta\right) d_\theta \qquad (\mathrm{Eq}\ 2-6)$$

وبإجراء التكامل:

$$w_{=} 4 * b * r_b * \theta_0 * \frac{w_o}{b} \qquad (\mathrm{Eq}\ 2-7)$$

$$w_o = \frac{w * \pi}{b * r_b * 4 * \theta_o}$$ (Eq 2 − 8) (قيمة الإجهادات الضاغطة في منطقة bead seat)

b:العرض الإجمالي لمنطقة bead seat ويساوي 19.8mm

r_b: نصف قطر منطقة bead seat ويساوي 202mm

W: الحمل القطري الأعظمي ويساوي 10400 N

وبالتعويض نجد w_o=2042 Kpa وهي قيمة الإجهادات الضاغطة في منطقة bead seat

وبملاحظة الفوارق بين هذه الطريقة مع الطريقة السابقة نجد أن هذه الطريقة تعتمد دراسة إجهاد تصميمي مؤثر أكبر وبالتالي هي الطريقة الأنسب والأضمن في تصميم بروفايل العجلة وأبعادها.

2-3-4 الدراسة تحت تأثير الضغط الهوائي الداخلي في منطقة rim flange:

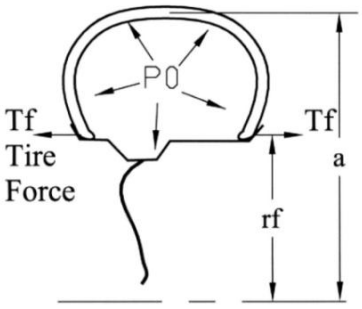
الإطارات المعتمدة في تجارب القياس هذه هي إطارات (good year eagle aqua) ذات المواصفة (P22560R16) مع ضغط داخلي يصل إلى 241Kpa وبحمل 3113N، مع التنويه إلى أن الضغط المطبق في منطقتين من bead seat هما inboard side and outboard side بالتساوي.

وبالنسبة لمنطقة inboard side فنصف الضغط تقريباً يطبق في inboard rim flange والنصف الآخر يطبق في inboard bead seat

إذاً يجب الأخذ بعين الاعتبار منطقة rim flange inboard والتي تنحني بسهولة بسبب طولها وحساسيتها للأحمال المنتقلة من الإطار الكاوتشوكي.[26]

إن الحمل المباشر وفق اتجاه محور العجلة والمؤثر على جدار منطقة rim يتغير حسب شكل بروفيل المقطع العرضي للعجلة كما في الشكل (2-7):

[26] p7-11،FALIQFARHAN



الشكل (2−7) القوة المؤثرة على جدار منطقة rim

القوة w_p الناتجة عن تأثير الضغط والمؤثرة ككل في منطقة الحلقة ذات القطر (a−r_f) تحسب وفق المعادلة التالية :

$$w_p = \pi\left(a^2 - r^2{}_f\right) * p_o \qquad (\text{Eq } 2-9)$$

a: نصف القطر التصميمي للإطار الكاوتشوكي

r_f: نصف القطر في نقطة الحمل (عند منطقة rim flange)

القوة w_p تؤثر عبر ملامسة الإطار الكاوتشوكي في منطقة rim flange ويمكن اعتبار أن هذا الحمل موزع من الجهتين بالتساوي، لذا فإن الحمل على طول وحدة المحيط الدائري لمنطقة rim flange يحسب عبر القوة Tf بالمعادلة التالية [27]:

$$T_{\mathrm{f}} = \frac{w_p}{2*2*\pi*\mathrm{r_f}} = \left(a^2 - r^2{}_f\right) * \frac{p_o}{4*\mathrm{r_f}} \qquad (\text{Eq } 2-10)$$

وبتطبيق هذه المعادلة باعتبار:

r_f=0.2208m p_o=241Kpa=35Psi a=0.3397m $\Longrightarrow$Tf=500N

وعندما p_o=117Kpa $\Longrightarrow$ Tf=251N

وعندما p_o=0Kpa $\Longrightarrow$ Tf=0N

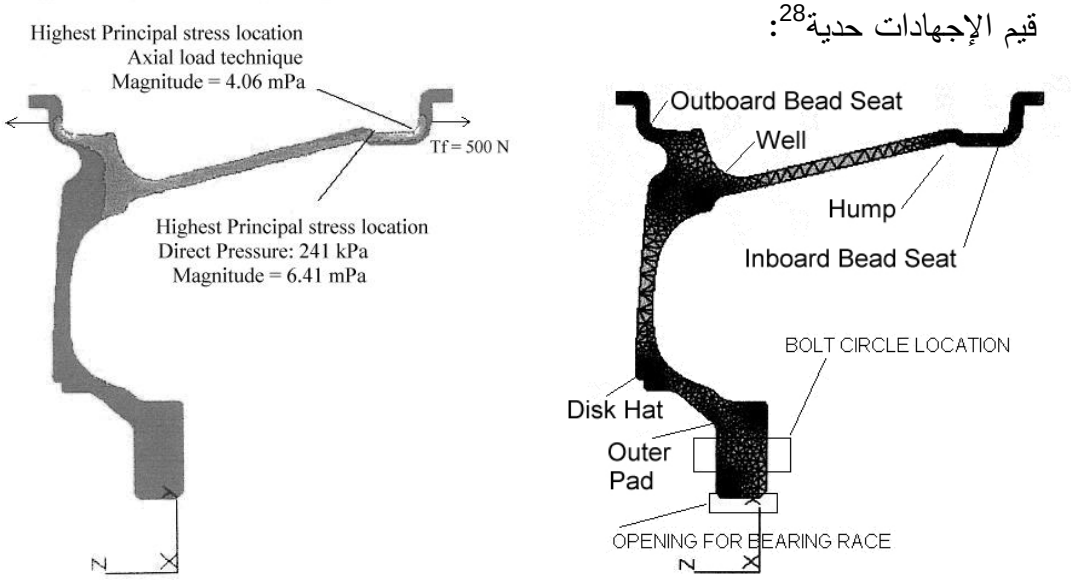
وبالنتيجة: اعتماداً على (Tf=500N) يتم تصميم منطقة rim flange

[27] Stearns، p62-63

ملاحظة: إن الضغط الهوائي المطبق في هذه الدراسة مختلف حسب الستاندرات ضمن أربعة قيم وهي (303KPa،241KPa،117KPa،0KPa) حيث إن الضغط الطبيعي هو 241KPa ويعادل 35Psi

2-3-5 نتائج الدراسة:

1 - الشكل التالي (2-8) يوضح أهم المواقع الأساسية ضمن بروفيل العجلة والتي يكون فيها قيم الإجهادات حدية[28]:

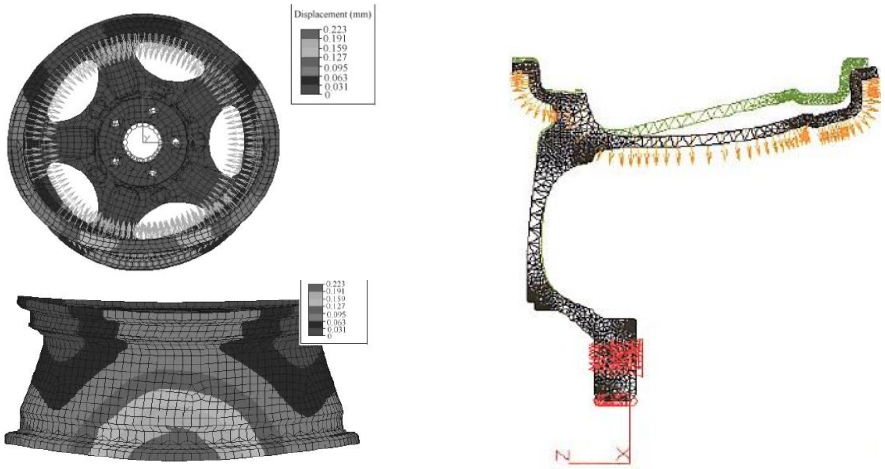


الشكل (2-8) المناطق الرئيسية الحدية لتوزع الاجهادات في بروفيل العجلة

2 - إن منطقة rim flange تنحني باتجاه المحور، كما وتنحني باتجاه منطقة تلامس الإطار مع العجلة، لذا فإننا نلحظ معدلات إجهاد عالية وكبيرة في هذه المنطقة، وإن مقدار الانحناء الحاصل ضئيل حيث لا يتجاوز (0.29mm) لذا يمكن إهماله

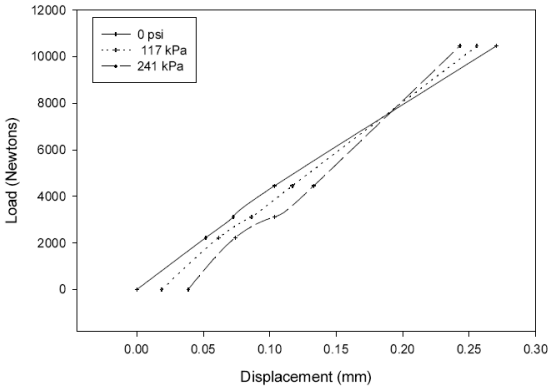
3 - إن التشوه العام الحاصل نتيجة زيادة الضغط الهوائي داخل العجلة مبين بالشكل (2-9)

[28] Stearns، p64-76



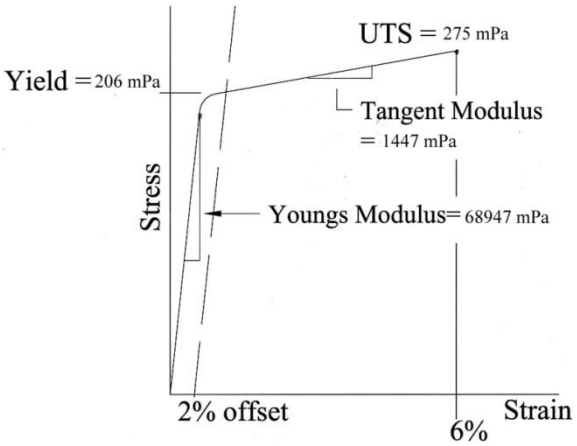
الشكل (2–9) التشوه العام الحاصل على العجلة المدروسة نتيجة زيادة الضغط

4 – إن المخطط التالي (2–10) يبين العلاقة الخطية مابين الحمل والإزاحة الناتجة في منطقة inboard bead seat :



مخطط (2–10) العلاقة الخطية مابين الحمل والازاحة في منطقة inboard bead seat

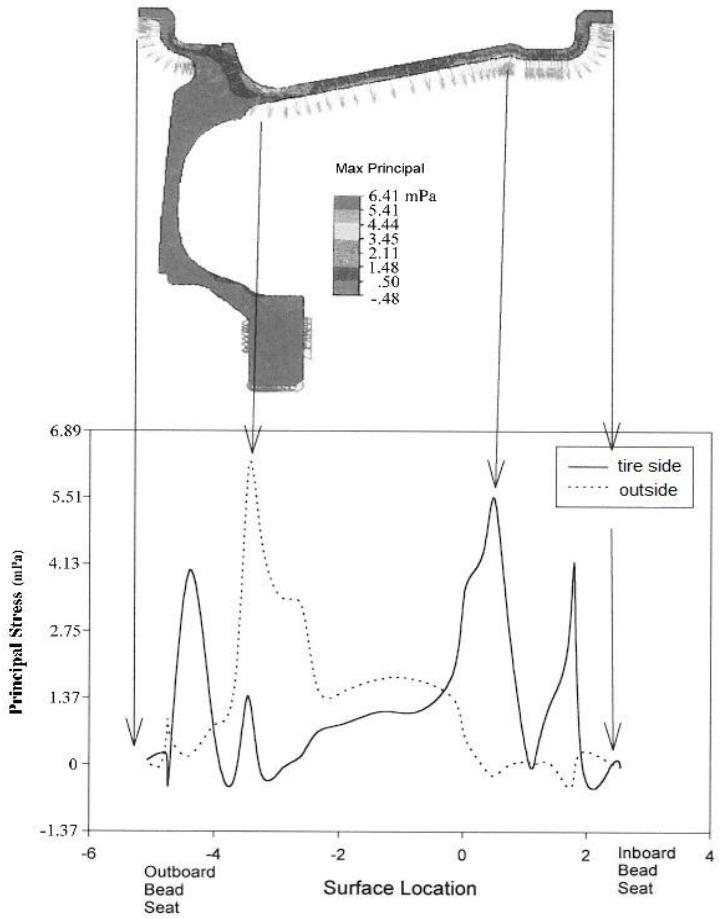
والشكل (2–11) يوضح مخطط الاجهاد – الانفعال لسبيكة الألمنيوم A356 :[29]



الشكل (2–11) مخطط الاجهاد – الانفعال لسبيكة الألمنيوم A356

[29] Stearns، p110-112

5 – لقد تبين أن الإجهاد الرئيسي الأعظمي بحدود 5510 KPa في منطقة hump من السطح الداخلي للعجلة (جهة الإطار الكاوتشوكي) وبالتحديد من جهة (inboard bead seat) عند ضغط هوائي طبيعي 241KPa، كما أن أعظم إجهاد في السطح الخارجي للعجلة من جهة (outboard bead seat) هو في منطقة rim well بحدود 6421 KPa والشكل (2–12) يوضح هذه النتيجة :



الشكل (2–12) توزع الاجهادات في العجلة المسبوكة

الفصل الثالث

دراسة قالب سباكة

العجلات وجريان المصهور

3-1 دراسة جريان المعدن المصهور:[30]

إن مبدأ طريقة السباكة بالضغط المنخفض (LPDC) تعتمد على إملاء القالب تحت ضغط منخفض لمنع حدوث الاضطرابات وماتخلفه تلك الاضطرابات من عيوب في العجلة المسبوكة، ولدراسة حساب هذا الضغط نستعين بمعادلة برنولي في السوائل حيث نعتبر أن السائل المصهور هو سائل نيوتوني ويوجد فرق ضغط مابين الضغط المطبق على المصهور في البوتقة (فرن الصهر) ومابين الضغط عند بوابة الدخول إلى قالب السباكة (ingate) والمعادلة المعبرة عن الجريان:

$$\frac{(p_i - p_v)}{\rho} + \frac{(v^2{}_i - v^2{}_v)}{2} + g = 0 \qquad (Eq\ 3-1)$$

حيث:

v_i: سرعة المتدفق عبر البوابة p_i: ضغط المتدفق عند البوابة

V_v: سرعة المتدفق عند سطح المصهور في الخزان

P_v: ضغط البخار فوق سطح المصهور في الخزان

h: ارتفاع البوابة فوق سطح المصهور في الخزان

إذا افترضنا أن سرعة المتدفق صغيرة ومهملة وحجم المعدن المصهور في البوتقة أكبر بكثير من حجم المسبوكة فحينها نستطيع اعتبار الضغط عند سطح بوابة الدخول Pi بأنه الضغط المطبق على سطح السائل المصهور منقوصاً منه ضغط العمود الهيدروستاتيكي مابين السطحين السابقين الذكر:

$$p_{i=}p_v - \rho gh \qquad (Eq\ 3-2)$$

3-2 دراسة قالب سباكة العجلات:

3-2-1 مكونات القالب: إن قالب سباكة العجلات المنتجة من قطعة واحدة مكون من ثلاثة أقسام رئيسية :

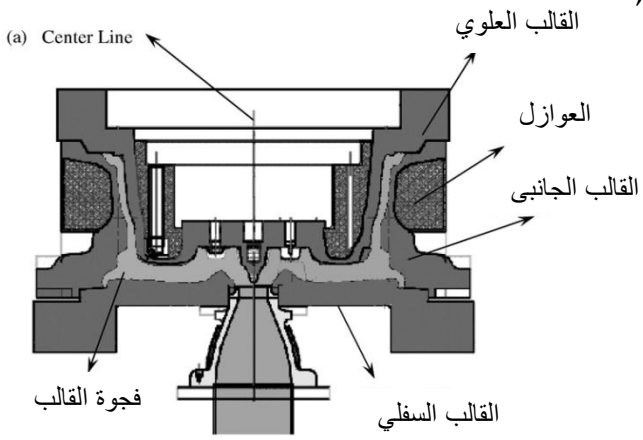
- قالب علوي (Top mold) (top die) متحرك وفق آلية هيدروليكية أو هوائية

[30] Xiangyu. et al.49

– قالب سفلي (Lower mold) or (bottom die) ثابت وفيه بوابة التغذية

– قالب جانبي (Side molds) or (side die) متحرك وفق آلية هيدروليكية أو هوائية مؤلف من أربعة قطع متوافقة في حركتها (فتح وإغلاق) حيث تتلقى أوامر الحركة وأوامر التوقف بآن واحد مع بعضهما

حيث يوضح الشكل(3–1) أجزاء هذا القالب [31]:



الشكل (3–1) الأجزاء الرئيسية لقالب سباكة العجلات

3–2–2 **حركة القالب:** تتم حركة القالب وفق التسلسل التالي:

إغلاق القالب الجانبي ومن ثم هبوط القالب العلوي وعندها تتم عملية الملء ومن ثم عملية التجمد.

بعد انتهاء عملية التجمد يتم فتح القالب الجانبي ومن ثم ارتفاع القالب العلوي للأعلى حيث تكون المسبوكة عالقة به ليتم لفظها عن طريق اللوافظ.

3–2–3 أنواع عملية التجمد: [32]

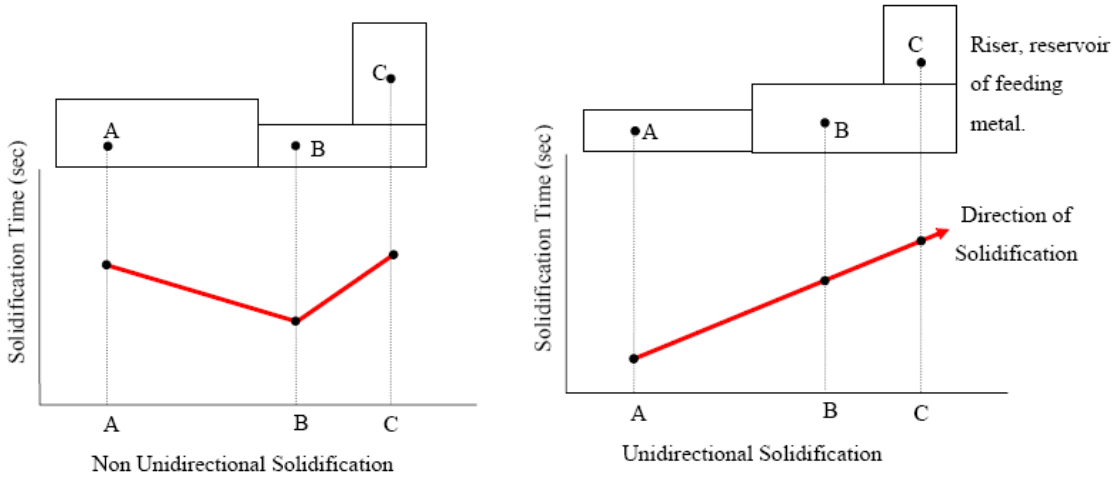
– التجمد وحيد الاتجاه (Unidirectional Solidification): والذي يعني أن تتجمد الأجزاء الأبعد عن انبوبة التغذية (خزان التغذية) أولاً متبوعةً بالأجزاء الأقرب ثم الأقرب وهكذا وصولاً لانبوبة التغذية والممثل بالشكل (3–2)

حيث تم تمثيل تجمد مسبوكة مؤلفة من ثلاثة أقسام رئيسية مختلفة السماكة C،B،A مع مرور الزمن، حيث يتجمد الجزء A أولاً ثم يتبعه الجزء B والذي يحتاج لزمن تجمد أكبر من الجزء A مما يعني أنه

[31] Maijer et al، p295-296
[32] Lee، p6-9

سيبقى بحالة سائل عندما يتحول الجزء A لحالة الصلب وبالتالي فإن الانكماش في الجزء A سيعوض عن طريق التغذية من الجزء C والذي يمثل خزان التغذية عبر الجزء B

– التجمد غير أحادي الاتجاه (non Unidirectional Solidification): يكون زمن تجمد الجزء A أكبر من زمن تجمد الجزء B لذا سيتجمد الجزء B قبل تجمد الجزء A وبالتالي سيواجه الجزء C عوائق في وظيفته المغذية بسبب الجزء المتجمد B وبالتالي ستتشكل فجوة الانكماش الغير معوضة في الجزء A كما يمثل ذلك الشكل (3–3)

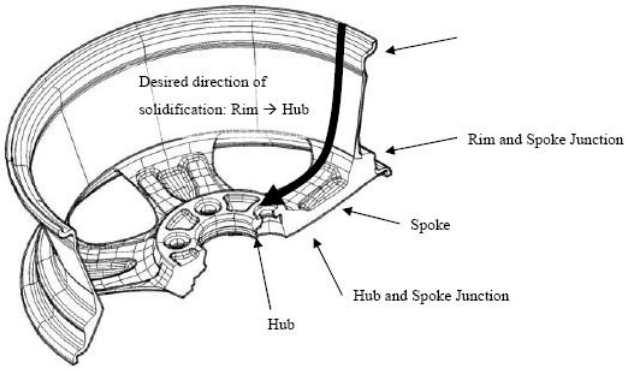


الشكل (3–2) التجمد وحيد الاتجاه

الشكل (3–3) التجمد غير وحيد الاتجاه

لذا وبالنتيجة فإن الاتجاه الصحيح لمسار عملية تجمد العجلة المسبوكة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض هو أن تتجمد أولاً منطقة rim ومن ثم منطقة spoke ومن ثم منطقة hub، وبالتالي المنطقة الأقل سماكة ستتجمد أولاً وستحتاج زمن تجمد أقل من التي ستليها وهذا مايسمى بالتجمد الموجه (directional solidification) كما يبين ذلك الشكل (3–4).

وكنتيجة نهائية فإن وضعية القالب في الشكل (3–4) هي الوضعية الصحيحة من أجل الحصول على تجمد وحيد الاتجاه.



الشكل (3-4) التجمد الموجه (directional solidification) في العجلة المسبوكة

3-2-4 القوى المؤثرة على قالب السباكة: [33]

خلال عملية الصب أي خلال المرحلة الأولى من ملء القالب بالمعدن المصهور يؤثر الضغط الديناميكي والستاتيكي للمعدن السائل في سطوح القالب.

- تكون قيمة الضغط الديناميكي عظمى في بداية الصب ودنيا عند انتهاء الصب ويتسبب هذا الضغط في القدرة الحركية للسائل المتحرك مؤثراً في سطح القالب عند اصطدام تيار المعدن به ويتوقف تأثير هذا الضغط عند توقف جريان المعدن أي بعد ملء المسبوكة.

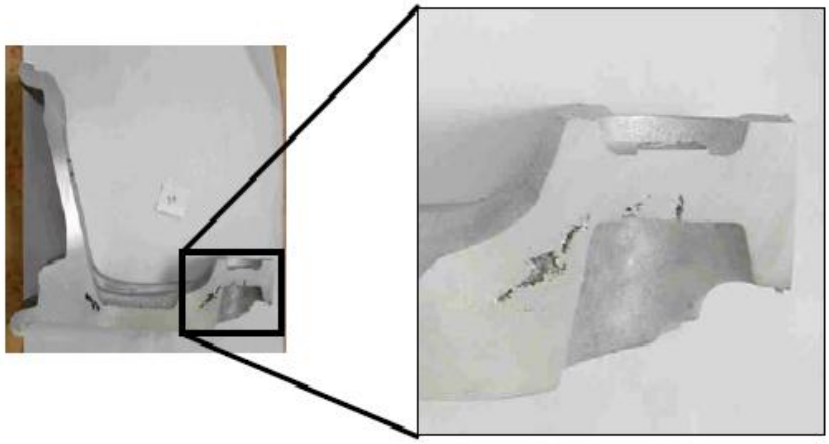
-الضغط الستاتيكي يكون أعظمياً بعد ملء القالب تماماً ويستمر تأثيره بقيمة ثابتة في القالب مادام المعدن سائلاً ويتوقف تأثيره في القالب بعد تشكل قشرة متجمدة في سطح المسبوكة حيث تتحمل هذه القشرة ضغط السائل

3-3 الانكماش أثناء عملية التجمد (shrinkage): [34]

إن عملية تشكل المسامات الانكماشية مرتبط بظواهر فيزيائية تحدث أثناء عملية التجمد، حيث حوالي 7% من التجارب المجراة على خلائط الألمنيوم المسبوكة تحوي مسامات خلال تحولها من الطور السائل للطور الصلب وذلك بسبب الاختلاف في الكثافة مابين هذين الطورين.

[33] يعقوب ص 182-183
[34] Lee،p5-6

إن عيوب الفراغات (voids) المتشكلة من جراء ظواهر الانكماش أثناء عملية التجمد تحتاج لتعويض النقص في السائل المصهور أو في الجامد عن طريق عملية التغذية (Feeding)، وبالتالي أي إخفاق أو نقص في عملية التغذية سيؤدي إلى عدم تعويض الانكماش الحاصل أثناء عملية التجمد وبالتالي عدم اكتمال البنية الناتجة بشكل كامل ونشوء مايسمى مسامة انكماشية (shrinkage porosity) وهي من أهم وأخطر العيوب الناتجة في مسبوكات خلائط الألمنيوم، والشكل (3-5) يوضح هذا العيب في عجلة مسبوكة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض:



الشكل (3-5) ظهور المسامة الانكماشية (shrinkage porosity) في العجلة المسبوكة

الفصل الرابع

تركيب خلائط الألمنيوم المتحصدة في إنتاج العجلات وتأثير العناصر المضافة على البنية

4-1 مقدمة:

يستخدم الألمنيوم وسبائكه في الكثير من التطبيقات الصناعية نظراً لتمتعه بخواص فيزيائية وكيميائية جيدة، الألمنيوم في صورته الفلزية النقية طري ولين وله قساوة من مرتبة (40) على مقياس برنيل للقساوة وتعد مقاومته للشد ضعيفة إذ لاتزيد مقاومته للشد عن ($90N/mm^2$) لذلك يستخدم الألمنيوم على شكل سبائك في معظم تطبيقاته الصناعية.

فيما يخص تصنيع العجلات فلقد كانت خلائط الألمنيوم هي الخيار الأفضل من المغنزيوم أو الفولاذ.

4-2 أهم خلائط الألمنيوم:[35]

أهم هذه الخلائط والمستخدمة في عمليات السباكة (ألمنيوم _ نحاس و ألمنيوم _ نحاس _ مغنزيوم و ألمنيوم _ منغنيز و ألمنيوم _ سيليكون و ألمنيوم _ زنك و ألمنيوم _ مغنزيوم).

إن خلائط الألمنيوم_سيليكون (Al–si) من أهم الخلائط المعتمدة في إنتاج المنتجات التجارية بطرائق السباكة المختلفة حيث تمتلك أفضل خواص سيولة في حالتها السائلة المصهورة وأفضل خواص تغذية للمسبوكة أثناء عملية التجمد.

لقد درس كل من yakhtin etal و Fraenkel خلائط Al–si كما وتسمى أيضاً silumin alloy والسيئة الوحيدة لهذه الخلائط هي عيوب المسامية الناشئة في المسبوكات.

تحضر سبائك الألمنيوم عن طريق إعادة صهر الألمنيوم مع عناصر السبيكة المفترضة بالنسب المطلوبة في فرن الصهر، ويجب التخلص من الغازات (degassing) في أثناء الصهر وعلى الخصوص غاز الهيدروجين

4-3 خلائط الألمنيوم – سيليكون الأساسية:

يمكن اعتبار الألمنيوم مع السيليكون يوتكتيك ذو طورين صلبين وبالتالي يمكن تصنيف الخلائط الناتجة من هذين العنصرين وفق ثلاثة مجموعات رئيسية وفقاً لمحتوى السيليكون فيها:

[35] p3،ÇETİNEL

1 –هيبويوتكتيك (hypo eutectic) ولها محتوى Si% أقل من 12.2

2 –يوتكتيك (eutectic) ولها محتوى Si%(12.6–12.2)، وتستخدم هذه الخلائط في عمليات السباكة بالقوالب

3 –هيبريوتكتيك (hyper eutectic) ولها محتوى Si% أكبر من 12.6 وتستخدم هذه الخلائط في التطبيقات التي تتطلب مقاومة كبيرة للاهتراء

كما ويبين الجدول (4–1)[36] النقاط الحدية لمخطط الألمنيوم_سيليكون ودرجات الحرارة الموافقة ونسب السيليكون في كل منها والتحولات الحاصلة:

الجدول (4–1) النقاط الحدية لتفاعلات خلائط AL–Si

Phase	Composition (weight %Si)	Temperature (°C)	Reaction Type
L ⟷ Al	0	660	Melting
L ⟷ (Al) + (Si)	12.2÷12.6	577±1	Eutectic
L ⟷ Si	100	1412÷1414	Melting

4–4 الخواص الفيزيائية لخليطة الألمنيوم A356، 0 : [37]

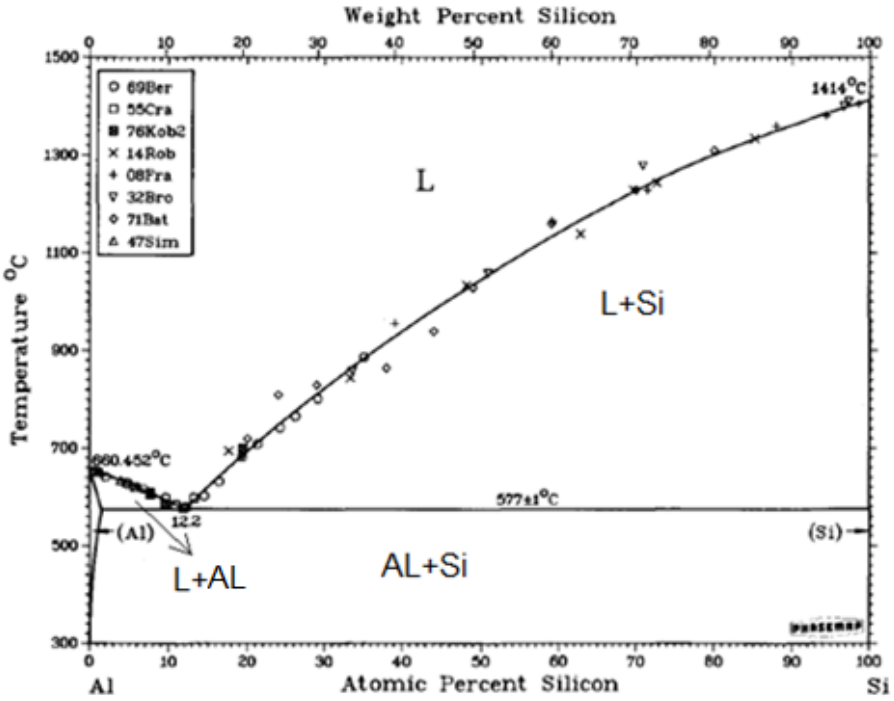
جدول (4–2) الخواص الفيزيائية لخليطة الألمنيوم A356،0

Material properties	Values
density	$2.485*10^{-3}$(g/mm^3 for solid)
	$2.415*10^{-3}$(g/mm^3 for liquid)
vescosity	$2.96*10^{-3}$(g/(mm*s))
Specific heat	0.963(j/(g*c^o))
Thermal conductivity	0.151(w/(mm*c^o))
Latent heat	389(j/g)
Liquidus temp	615C^o
Solidus temp	555C^o

[36] p24،ÇETİNEL
[37] p49،Xiangyu. et al

4-5 مخطط توازن الألمنيوم- سيليكون:[38]

الشكل (4-1) يوضح مخطط توازن خلائط الألمنيوم سيليكون والنقاط الحدية ودرجات الحرارة والنسب المئوية لتلك النقاط



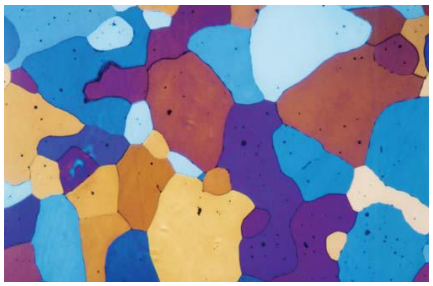
الشكل (4-1) مخطط توازن AL-Si

4-6 البنى الميكروية لخلائط (Al-Si):[39] إن الطور الثنائي للألمنيوم والسيليكون درس من

قبل العالم Fraenkel في ألمانية عام 1908 ودرست علاقة الارتباط مابينهما وبطريقة ذوبان إحدى العنصرين في الآخر وتبين الصور التالية البنى الميكروية لخلائط Al-si في درجة حرارة الوسط المحيط.

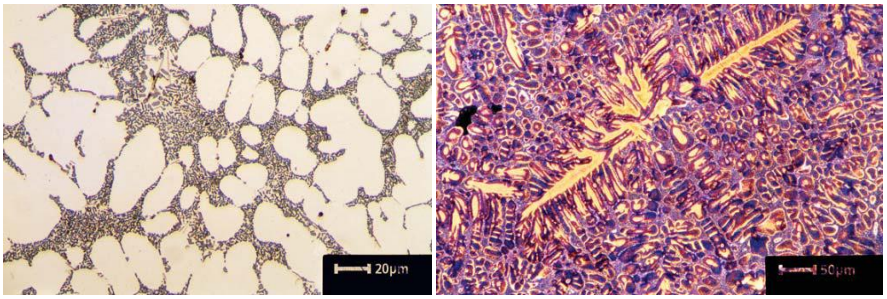
يمثل الشكل (4-2) البنية الميكروية لبلورات الألمنيوم الصرف بدون أي إضافات (**99.95%Al**):

[38] Murray. Et al، p74-76
[39] Lozano. Et al.p3-7



الشكل (4-2) (بلورات الألمنيوم الصافي) (99.95%Al)

يوضح الشكل (4-3) البنية الميكروية لخليطة تحوي نسبة (7.12%Si) ويتوضح من الشكل الأيسر وجود جزيئات السيليكون الصغيرة ضمن اليوتكتيك الغامق اللون، و بنسبة تكبير أعلى من السابقة يتوضح من الشكل الأيمن تشكل أذرع الدندريت الرئيسية من الألمنيوم Al-α المضيء ويتفرع عنه أذرع دندريتية ثانوية عمودية على محوره ضمن اليوتكتيك الغامق.

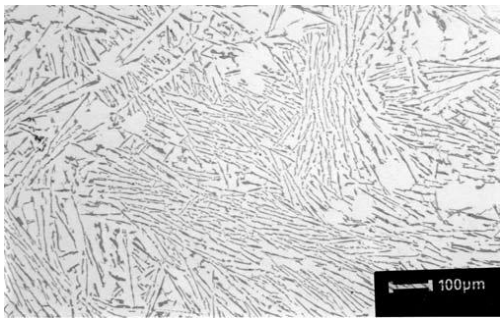


الشكل (4-3) البنية المجهرية لخليطة AL-Si تحوي 7.12% Si

يوضح الشكل (4-4) البنية الميكروية لخليطة تحوي نسبة (10%Si) وكما يتبين تشكل بلورات أولية بنسب أقل من الألمنيوم Al-α البيضاء واليوتكتيك المحيط به باللون الغامق

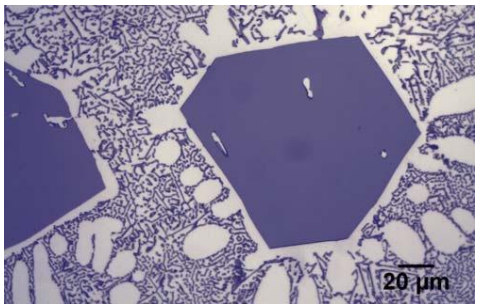
الشكل (4-4) البنية المجهرية لخليطة AL-Si تحوي 10% Si

يوضح الشكل (4-5) البنية الميكروية لخليطة يوتكتيكية تحوي نسبة (12%Si) ويتوضح فيه ألياف السيليكون الطويلة الزرقاء ضمن اليوتكتيك



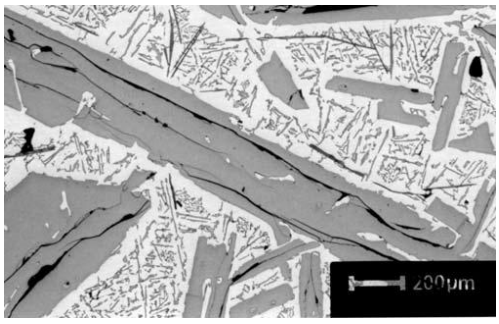
الشكل (4-5) البنية المجهرية لخليطة AL-Si تحوي Si 12%

يوضح الشكل (4-6) البنية الميكروية لخليطة تحوي نسبة (19.85%Si) ويتوضح فيه وجود جزيئات كبيرة أساسية أولية من طور Si المحاطة بخلايا اليوتكتيك Al-si



الشكل (4-6) البنية المجهرية لخليطة AL-Si تحوي Si 19.85%

يوضح الشكل (4-7) البنية الميكروية لخليطة تحوي نسبة (50%Si) ويتوضح فيه وجود جزيئات كبيرة مصدعة وهشة من Si المحاطة بخلايا اليوتكتيك Al-Si



الشكل (4-7) البنية المجهرية لخليطة AL-Si تحوي Si 50%

4-7 تأثير العناصر المضافة على خلائط Al-Si:

4-7-1 مقدمة:[40] إن الكثير من العناصر تضاف لمعدن الألمنيوم بهدف الحصول على خلائط متنوعة ومتميزة بخصائص دون غيرها، حيث يتم إعادة صهر الألمنيوم الصافي مع عناصر الخليطة المفترضة بالنسب المطلوبة في فرن الصهر ومن ثم تبريدها، ومن أهم تلك العناصر المضافة حسب ترتيب أهميتها هي:

(Si،Mg، Cu، Fe، Na، Ti، Sr، Zn، Zr، Mn، Be، B، V، .....)

4-7-2 العناصر المضافة:

Si(silicon): وهو من أهم العناصر المضافة للألمنيوم بسبب الخواص الناتجة والمفضلة في عمليات التشغيل وقابلية السباكة (castability)، كما يزيد السيليكون من مقاومة الصدأ.

وإن الخلائط التي تحوي سيليكون بنسب %(5÷20) من الوزن تحسن من خواص الألمنيوم بشكل كبير وخاصة فيما يتعلق بالسيولة والميوعة (fluidity) وتقلل النفايات الناتجة من عملية السباكة وتقلل التصدعات والفجوات الانكماشية وتسمح بإنتاج تصاميم معقدة وسماكات كبيرة مع جودة في نوعية السطح

Mn(manganese): يضاف للألمنيوم ليشكل مع الحديد الموجود بلورات قليلة الكروية، كما أنه يحد من التأثير الضار للحديد على الخليطة، ولكن بزيادته تقل الخواص الميكانيكية للخليطة

إن إضافة عنصر المنغنيز Mn ليعادل تأثير الحديد أمر طبيعي وعام ويجب أن تكون النسبة بينهما (Mn/Fe~0.5)، وهذا يؤدي لتخفيض وجود الطور β وإعادة نشوء الطور α مما يحسن قابلية الطرائق ولكن ممكن أن يؤدي إلى ظهور بقع قاسية وبالتالي مشاكل أثناء عمليات التشغيل.[41]

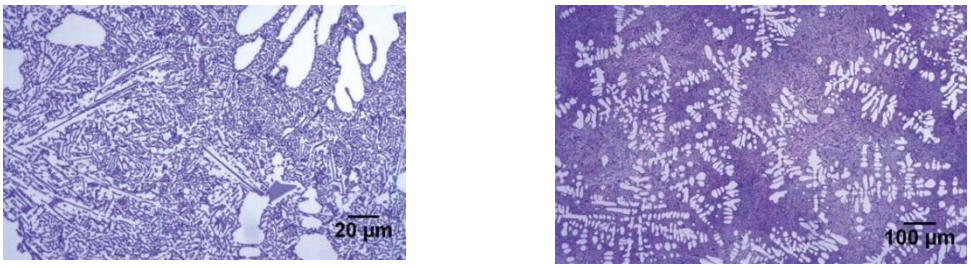
Cu(copper): بإضافة النحاس للألمنيوم يتشكل مركب ($CuAl_2$) والذي يحسن قساوة وقابلية خلائط Al-Si للمعالجة الحرارية، وفيما يتعلق بالمتانة وقابلية الليونة فالاعتماد هنا فيما إذا وجد

[40] Lozano. Et al.p1
[41] Taylor، p9-10

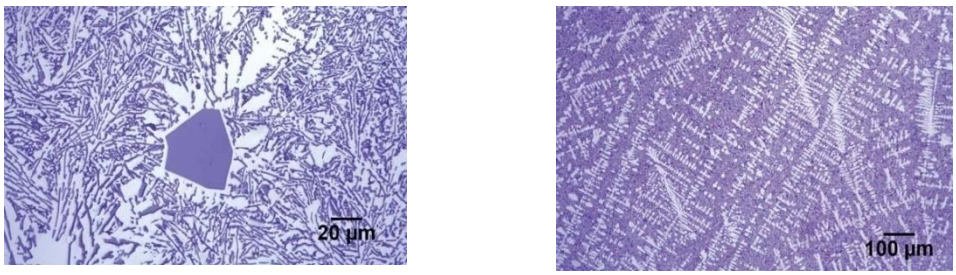
النحاس في حالة انحلال صلب أم لا أو أنه موزع بشكل متجانس في الجزيئة أم لا، ومن مساوئ النحاس في هذه الخلائط أنه يقلل من الإمكانية الالكتروليتية ومقاومة الصدأ[42]

(beryllium)Be: يدخل هذا العنصر في تركيب خلائط Al–Si ليحسن من مقاومة الصدأ لها ومن استطالتها ومتانتها

(titanium)Ti: يزيد هذا العنصر من مقاومة الصدأ لخلائط Al–Si وبشكل عام يضاف على شكل يوريد التيتانيوم ليتشكل (AlTiB أو $TiAl_3$ أو AlB_2) مما يؤدي إلى زيادة عدد مراكز أنوية التجمد وبالتالي الحصول على بلورات ناعمة وزيادة حد الخضوع لتلك الخلائط، والشكل (4–8) يوضح بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al–Si تحوي (12.9%Si) والمسبوكة بطريقة السباكة التثاقلية ضمن القوالب ومعدلة بنسبة (0.03%Ti) حيث نلاحظ صفاء البلورة وتواجد عدد قليل من إبر طويلة من Si ضمن اليوتكتيك ذو اللون الأبيض مقارنة بالبنية التي لاتحوي أي إضافات والمتمثلة بالشكل (4–9) والتي يتضح فيها وجود جزيئات برويوتكتيكية كبيرة من Si وألياف صغيرة أيضا ذات اللون الأزرق ضمن اليوتكتيك ذو اللون الأبيض[43] :



الشكل (4–8) بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al–Si تحوي(12.9%Si) والمسبوكة بطريقة السباكة التثاقلي ومعدلة بنسبة (0.03%Ti)



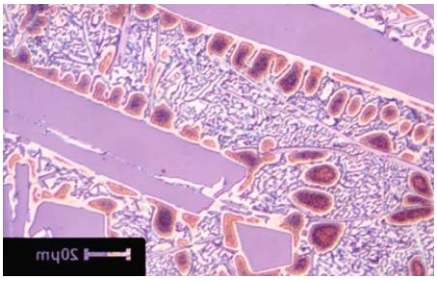
الشكل (4–9) البنية المجهرية لخليطة AL–Si تحوي 12.9% Si مسبوكة بطريقة السباكة التثاقلية

[42] p74،Murray.et al - p3-4-5-6،ÇETİNEL
[43] p3،Lee - p6،ÇETİNEL - p5،Lozano et al

(iron)Fe: ومن مساوئه أنه يقلل من الخواص الميكانيكية للمسبوكات الناتجة من خلائط Al–Si. والشكل الأيمن (4–10) يوضح بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 25%Si و 1.4%Fe حيث يتبين تشكل جزيئات البرويوتكتيك الأساسية الكبيرة Si من مركب (β Al Fe Si) الذي يقلل الصلابة (toughness) والليونة (ductility) ويؤدي إلى تشكل فجوات انكماشية و كسور محاطاً باليوتكتيك Al–Si[44].مع العلم أن الضرر الناتج عن تشكل المركب السابق الذكر يحد عن طريق زيادة معدلات التجمد وإضافة عناصر مثل Ti وSr [45]

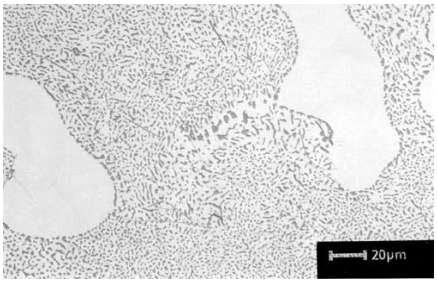
إن المحتوى الحدودي للحديد في خلائط Al–Si يحسب استناداً للمعادلة التالية [46]:

$$Fe_{crit} = 0.075 * [\%Si] - 0.05 \qquad (\text{Eq } 4-1)$$



الشكل (4–10) بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 25%Si و 1.4%Fe

(sodium)Na: إن الصوديوم يزيد قساوة خلائط Al–Si وخاصة عند نسبة (0.01wt%)، والشكل (4–11) يوضح بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 12%Si مضافاً إليها عنصر الصوديوم [47] ونلاحظ عندها مدى نقاء وصفاء اليوتكتيك الناتج من السيليكون والبريوتكتيك (α–Al (proeutectic مقارنة بالبنية التي لا تحتوي عنصر الصوديوم[48]



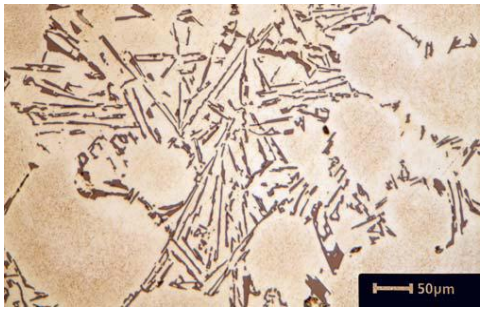
الشكل (4–11) بنية ميكروية لخليطة Al–Si تحوي 12%si مضافاً إليها عنصر الصوديوم

[44] p4،Lozano.et al
[45] p5،ÇETİNEL
[46] p9-10،Taylor
[47] p74،Murray.et al
[48] p4-5،Lozano.et al

(magnesium)Mg: بإضافة المغنزيوم لخلائط Al–Si يتشكل مركب Mg_2Si (ويظهر رغم قلة نسب السيليكون) والذي يمكن هذه الخلائط من قابلية المعالجة الحرارية، كما ويحسن هذا العنصر بعض الخواص الميكانيكية لخليطة Al–Si مثل القساوة وقوى الشد ومقاومة التعب ولكن بنفس الوقت يقلل من قابلية اللدونة وبالتالي قابلية السحب والتطريق.

إن قابلية المغنزيوم لتشكيل جزيئات دقيقة من أكسيد المغنزيوم (MgO) كبيرة جداً في المصهور وهذا الأكسيد يؤدي تدريجياً لتشكيل شوائب دخيلة[49] مما يقلل سيولة الخليطة ولدونتها.[50] .

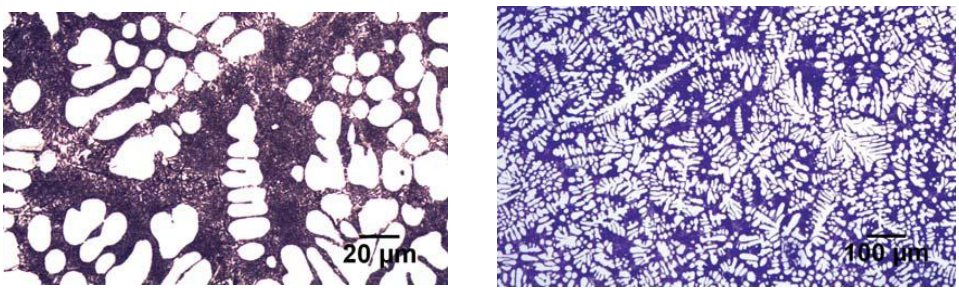
يوضح الشكل (4–12) البنية الميكروية لخليطة Al–Si تحوي (7.12%Si–0.045%Mg) والذي يوضح أن جزيئات اليوتكتيك تأخذ شكلاً مختلف حيث تصبح أكثر استطالة:



الشكل (4–12) البنية الميكروية لخليطة Al–Si تحوي (7.12%Si–0.045%Mg)

(strontium)Sr: ومهمة هذا العنصر تعديل البنية الناتجة وزيادة نسب الاستطالة من 2% إلى 5% ، حيث يؤمن تعديل البنية اليوتكتيكية الهشة الفقيرة للطور α–Al والتي تحوي Si%(13÷5) من الشكل الصفائحي الدائري أو الابري (needle) لجزيئات السيليكون المتجمدة إلى حالة ألياف وخيوط (fibrous phase) ذات اللون الأزرق، وعندها تتحسن الخواص الميكانيكية وخصوصاً فيما يتعلق بالاستطالة والصلابة ومقاومة الكسور ومقاومة التعب ونمو الشقوق وهذا يظهر جلياً في المسبوكات كبيرة الحجم وذات المقاطع الثخينة. والشكل (4–13) يوضح بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al–Si تحوي (12.9%Si) والمسبوكة بطريقة السباكة التثاقلية ضمن القوالب ومعدلة بنسبة (0.045%Sr) [51] حيث نلاحظ عدم وجود جزيئات أولية من Si مقارنة بالبنية التي لاتحوي أي إضافات [52]:

[49] ÇETİNEL، p4-5
[50] Lee، p3
[51] Lee، p3
[52] ÇETİNEL، p6



الشكل (4-13) بنية ميكروية لخليطة يوتكتيكية من Al-Si تحوي (12.9%Si) والمسبوكة بطريقة السباكة التثاقلية ضمن القوالب ومعدلة بنسبة (0.045%Sr)

Cr،V،Ni،Zr: كلها عناصر تضاف لخلائط Al-Si وتؤدي إلى زيادة عدد مراكز أنوية التجمد وبالتالي الحصول على بلورات وناعمة[53]

[53] p24،ÇETİNEL

الفصل الخامس

دراسة عملية إزالة الغازات من المصهور

Degassing

5-1 مقدمة:

إن عملية تخليص المصهور من الغازات (degassing) من مصهور خلائط Al–Si أمر مهم جداً تسبق عملية السباكة لأنها تساعد في تخفيض كمية غاز الهيدروجين المنحل في المصهور والذي يسبب تشكيل الفجوات والثقوب في العجلات المسبوكة.

5-2 تحضير المصهور: وتستلزم هذه العملية ثلاثة مراحل[54] :

1 – صهر أولي للقطع الخام (الكتل) (ingot)

2 – عملية طرد الغازات (degassing)

3 – إعادة الصهر من أجل إعادة تكوين المصهور من جديد مع الإضافات المناسبة

ولابد من حصر هذه المكونات ضمن جو محكم الإغلاق والمحافظة على حرارتها وعادة مايستخدم فرن كهربائي من أجل ذلك (electric furnace)

5-3 نشوء الهيدروجين في مسبوكات خلائط الألمنيوم ومصادره:

من المعروف أن غاز الهيدروجين H_2 هو الغاز الوحيد الذي ينحل في المعدن المصهور، حيث تتحد ذرتين لتشكيل جزيء وحينها فإن الغاز يشكل فقاعة منحصرة.

وإن ذرات الهيدروجين والمتمتعة بنشاط كبير يمتص بشكل سريع من قبل الألمنيوم المصهور وفق التفاعل الكيميائي التالي:

$$3H_2O + 2AL \longrightarrow 6H + AL_2O_3 \qquad (Eq\ 5-1)$$

وإن من أهم مصادر مسامات الهيدروجين:

1 – الهواء الجوي المحيط بالفرن والذي يحوي كميات كبيرة من بخار الماء والذي يشغل الهيدروجين 9% من وزنه، أما مصادر هذا البخار فهي نواتج الاحتراق والذي يشغل 18% من مكونات الاحتراق

2 – الرطوبة الناتجة عن المواد المقاومة للصهر (refractory) وعن أدوات فرن الصهر وعن مساعدات الصهر (fluxes)

3 – الكتل الرطبة ولربما (ingots)

[54] ÇETİNEL، p14-17

4 – الرطوبة الناتجة من طلاء الهيدروكسيد والزيوت المتشكلة على معدن الصوديوم المستخدم من أجل تعديل بنى خلائط الألمنيوم

5 – إن طبقة أكسيد الألمنيوم المتشكلة على سطح الألمنيوم المصهور والتي تكون على تماس مع الهواء الخارجي تحوي هيدروجين محصور بداخلها والذي يشكل بدوره مسامات غازية في المسبوكة المتجمدة في حال اختلاط هذه الطبقة مع المصهور من جراء عملية الصب المضطرب

5-4 مبدأ عملية (degassing):[55]

الغاز المستخدم في هذه العملية حتماً يجب أن يكون غاز خامل التفاعل (inert) مع الألمنيوم وجاف وعديم الذوبان مثل غاز الآرغون (argon) أو غاز الهيليوم (helium) أو غاز النتروجين (nitrogen) أو غاز الكلور (chlorine) حيث يتم إزالة غاز الهيدروجين الضار من المصهور اعتماداً على التفاعل التالي والذي يولد فقاعات الهيدروجين على سطح المصهور:

$$2H \longleftrightarrow H2 \text{ (gas bubble)} \qquad (\text{Eq } 5-2)$$

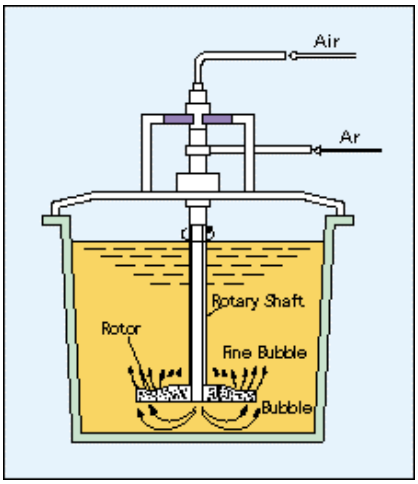
حيث تأخذ كل فقاعة جزء من غاز الهيدروجين المنحل في المصهور لخارج المصهور، ويجب مراعاة أمر مهم وهو القيام بعملية طرد الغازات عند درجات حرارة منخفضة قدر الإمكان.

والشكل (5-1) يوضح مخطط عملية الطرد (degassing) بغاز الآرغون والذي يحقن في مصهور خلائط الألمنيوم والسيليكون عبر فتحة أو فتحتين دقيقتين بقطر 10mm ولمدة 4 دقائق تقريباً (وهذا الزمن يعتمد على خواص المعدن المصهور) بضغط (0.4÷0.6)bar وعندها تكون درجة الحرارة بحدود (715÷740)c^o ليتم انتشار هذا الغاز بشكل جيد ويؤدي لتشكل فقاعات، حيث ينتشر الهيدروجين ضمن هذه الفقاعات ويطرد خارجاً معها وعندها تنخفض نسب غاز الهيدروجين بشكل جيد في المصهور لتصبح مهملة، كما وتساعد الفقاعات الناتجة عن حقن هذه الغازات الخاملة على طفو الجزيئات المؤكسدة على سطح المصهور وعندها يعمل الغاز الخامل كمنظف للخبث أيضاً.

ومن أفضل الشركات في تصنيع وحدة degassing هي شركة (Ford green engineering LTD)

ومن المجدي اقتصادياً في أغلب الأحيان استخدم غاز النتروجين لأنه أقل كلفة من غاز الآرغون

[55] ÇETİNEL، p20-22



الشكل (5-1) مخطط عملية التخلية (degassing) بغاز الآرغون لمصهور سبائك AL-Si

ومن المفضل استخدام النسب التالية من الغازات الخاملة:

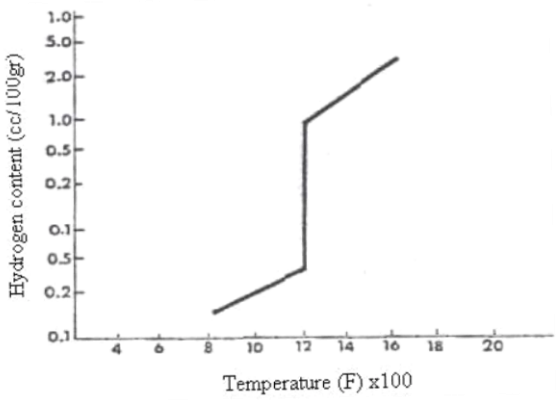
(90%nitrogen and 10%chlorine) Or (90%argon and 10%chlorine)

5-5 العوامل المؤثرة في كمية الهيدروجين الممتص:

5-5-1 تأثير درجة حرارة المصهور:

بارتفاعها تزيد تدريجياً كمية الهيدروجين الممتص كما في الشكل (5-2)

- مع الأخذ بعين الاعتبار أن الانحلالية معدومة في الحالة الصلبة للخليطة ولكنها تبدأ بالتزايد عند درجات حرارة أقل بقليل من درجة حرارة الانصهار وتصل لحوالي 0.7cc/100g من المصهور[56].

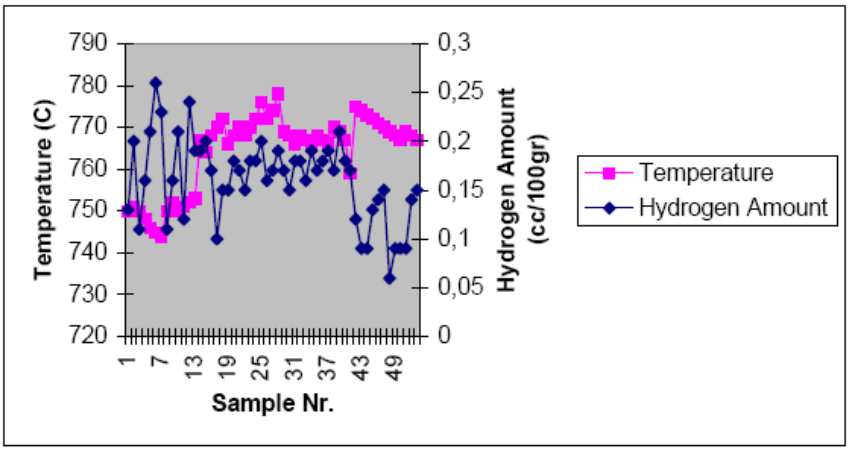


الشكل (5-2) كمية الهيدروجين الممتص في خلائط الألمنيوم تبعا لدرجة حرارة الخليطة المصهورة

[56] p17،ÇETİNEL

– إن الخلائط التي تحتوي على أقل من 0.1cc/100g من الهيدروجين في المصهور تبقى جزيئاتها خالية من المسامات الغازية الناتجة (gas pores) والبثور الغازية (القروح الغازية) (blisters)

– الشكل (5–3) يوضح دراسة تجريبية لمجموعة من العينات المختبرة والمفحوص فيها نسبة الهيدروجين مع تغير درجات حرارة المصهور:



الشكل (5–3) مخطط يوضح دراسة تجريبية لمجموعة من العينات المختبرة والمفحوص فيها نسبة الهيدروجين مع تغير درجات حرارة المصهور

وكما هو واضح من الشكل السابق أن المنحنيات ذات التغير الكبير في محتوى الهيدروجين لاتؤخذ كمقياس أو قاعدة أو نتيجة لأنها منحنيات غير نظامية للتغير، وبالنتيجة فإن محتوى الهيدروجين يتغير بشكل نظامي مابين (0.15÷0.2)cc/100gr بتغير درجة الحرارة ضمن مجال C^{o}(765÷775) ، وحينها نستطيع القول أن عملية الانحلال النظامية للهيدروجين في المصهور ضمن هذا المجال[57]

5–5–2 تأثير زمن عملية degassing:[58]

إن لزمن هذه العملية تأثير كبير في محتوى الهيدروجين في المصهور، حيث تمت تجربة هذا العامل على ثلاثة مستويات من الزمن ولكل مستوى خمسة مشاهدات، ونستنتج من التجربة أنه بزيادة زمن العملية يقل محتوى الهيدروجين في المصهور كما هو مبين في الجدول (5–1):

[57] p79-80،ÇETİNEL
[58] p76-77،ÇETİNEL

جدول (5-1) محتوى الهيدروجين الممتص في المصهور تبعاً لزمن عملية التخلية

Degassing Time (minute)	Hydrogen Content (cc/100gr)						AVERAGE TOTAL
	1	2	3	4	5	TOTAL	
2,5	0,14	0,13	0,17	0,10	0,12	0,66	0,132
3,5	0,09	0,06	0,05	0,06	0,04	0,3	0,06
4	0,03	0,07	0,03	0,05	0,04	0,22	0,044
						1,18	0,236

الفصل السادس

دراسة عملية التوزع الحراري في أجزاء العجلة المسبوكة وآلية تجمدها

6-1 مقدمة:

تعتمد العلاقات الحرارية للمسبوكة والقالب بدءاً من مرحلة صب المعدن وخلال التجمد الكلي وتبريد المسبوكة حتى حرارة المحيط الخارجي على:

- انتقال الحرارة في المعدن السائل بالحمل (convection)
- انتقال الحرارة في المعدن المتجمد بالتوصيل (conduction)
- انتقال الحرارة في الطور نصف السائل (الطور المزدوج) (السائل والجامد معاً) بالتوصيل وبالحمل معاً
- الانتقال الحراري عبر القميص الهوائي (air gap) المتشكل مابين السائل المصهور وسطح القالب بسبب حدوث التقلص للمسبوكة وانتقال الحرارة بالإشعاع (radiation) والتوصيل عبر ذلك القميص
- انتقال الحرارة من المسبوكة إلى القالب
- انتقال الحرارة في القالب نفسه وإلى المحيط الخارجي

حتى يتم الحصول على حالة متوازنة حرارياً في المسبوكات تنتقل الحرارة من المعدن الساخن إلى القالب البارد عبر الحد الفاصل بينهما، إلا أن الحرارة لا تنتقل من جميع أجزاء المسبوكة إلى القالب بصورة منتظمة، فأجزاء المسبوكة التي تلامس سطح القالب مباشرة تعطي الحرارة إلى القالب بسرعة أكبر من الأجزاء الداخلية، لهذا فإن الأجزاء الخارجية للمسبوكة تبرد قبل الأجزاء الداخلية لها ويتشكل بذلك حقل حراري غير متجانس في المسبوكة نفسها يتميز بوجود فرق في درجة الحرارة على طول سماكة جدار المسبوكة.[59]

– المحور الحراري للمسبوكة: وهو المحل الهندسي للنقاط التي تبقى درجة حرارتها أعلى مايمكن خلال التجمد،أي ذلك المكان الذي ينتهي عنده تجمد المسبوكة. وتبرز أهميته بأن جميع عيوب التجمد تظهر في ذلك المحور، وعلى سبيل المثال (المحور الحراري للاسطوانة مستقيم، وللكرة نقطة مركزها، وللعجلة منطقة hub).

[59] يعقوب ص147-148

6-2 حساب التدفق الحراري (heat flow):

يمكن صياغة عملية الانتقال الحراري بقانون الجريان الحراري الترموديناميكي بشكل عام بالمعادلة التالية[60]:

$$Q = Q_S + Q_G + Q_R \qquad (\text{Eq } 6-1)$$

Q_S: الانتقال الحراري بالتوصيل عبر نقاط اتصال الجامد

Q_G: الانتقال الحراري بالتوصيل عبر الفجوة الهوائية

Q_R: الانتقال الحراري بالإشعاع عبر الفجوة الهوائية

يمكن التعبير عن المعادلة السابقة باستخدام قانون نيوتن بالشكل التالي[61]:

$$Q = h_c * A * \left(\frac{\Delta t}{x}\right) \qquad (\text{Eq}6-2)$$

Q: معدل انتقال الحرارة

h_c: (convective heat transfer coefficient) وهومعامل التوصيل الحراري للمادة التي عبرها يتم انتقال الحرارة ويمكن ترميزها بالحرف (K) حسب المرجع المدروس

X: السماكة (المسافة) A: مساحة أسطح الاتصال $\Delta t/x$: التدرج الحراري

وهذه المعادلة تصف الجريان الحراري المستمر عبر جسم طوله (x) وذو مقطع عرضي ثابت مساحته (A) المعرض لفرق درجة حرارة ثابت

6-3 المقاومات الحرارية (thermal resistances):

هناك خمسة مقاومات حرارية ممكن أن تقف في وجه الجريان الحراري وهي:

- مقاومة الطور السائل: له مقاومة قليلة للجريان الحراري (تأثيره مهمل)
- مقاومة الطور الجامد: ستدرس لاحقا
- مقاومة الحدود البينية أو السطح البيني (interface) أو الخلوص أو الطبقة الحدودية (air gap) بين الجامد والقالب بافتراض أن الجامد (solid) والقالب (mould) ذو ناقلية عالية : وبنتيجة الدراسة يتبين أن سماكة الطبقة المتجمدة تتزايد طردياً مع الزمن وإن معدل سرعة نموها يعتمد بصورة أساسية على عامل انتقال الحرارة للطبقة الحدودية ، وهذه الحالة تحصل في الصب التثاقلي للقوالب المعدنية.

[60] Lee، p27-28

[61] عازار ص 23-25

- مقاومة القالب: في حال كانت سماكته كبيرة
- مقاومة الحدود البينية بين القالب والمحيط الخارجي: تأثيره مهمل

مقاومة الطور الجامد: في حالة المسبوكات في القوالب ذات الناقلية العالية وبإهمال انتقال الحرارة عبر السطح البيني بين الجامد والقالب وعندها يتحكم الجامد بسرعة ومعدل انتقال الحرارة وهذه البارمترات مقاربة بشكل معقول للسباكة بالضغط وحقن البوليمرات[62] وبنتيجة الدراسة يتبين:

- سماكة الطبقة المتجمدة (s) تزداد بزيادة الجذر التربيعي للزمن وبزيادة فرق درجة الحرارة مابين المعدن المنصهر والقالب
- زمن التجمد يتناسب مع مربع السماكة

$$s = 2 * B * \sqrt{\frac{K_s}{\rho_s * c_s}} * \sqrt{t} \longrightarrow t = c * s^2 \qquad (Eq\ 6-3)$$

B: ثابت التكامل- Cs:الحرارة النوعية - t:الزمن - ρ_s :كثافة الجامد- ks:معامل الانتقال الحراري

6-4 طرائق زيادة عملية الانتقال الحراري أثناء تبريد المسبوكات:

- زيادة مساحة الأسطح الخارجية لفجوة القالب حتى يتم تبديد (تشتيت) كمية أكبرمن الحرارة بالحمل عن طريق وجود أذرع أو زعانف خارجية.....الخ
- زيادة كتلة القالب (زيادة سماكته) ليمتص قدر أكبر من الحرارة
- استخدام التبريد القسري (forced cooling) كمجاري مائية أو هوائية عبر قنوات مدروسة
- زيادة درجة الحرارة الابتدائية للقالب و بالتالي زيادة معدل الانتقال الحراري في السطوح البينية (interfacial) بسبب احتفاظ المصهور بحرارته العالية لفترة أكبر وبالتالي زيادة سيولة (fluidity) المصهور

ومايزال التبريد القسري الأكثر تأثيراً وهو الخيار المتبع من أكثر الشركات المتخصصة في سباكة العجلات[63]

[62] عازار ص 26-39
[63] Lee، p17

6-5 توزع درجات الحرارة في العجلة المسبوكة وأزمنتها:

ويمكن تقسيم دورة العمل لإنتاج عجلة مسبوكة بطريقة (LPDC) لأربعة مراحل مختلفة بمدى سرعة الانتقال الحراري وهي:

1- المرحلة الأولى: معدل انتقال الحرارة من المسبوكة للقالب مهمل لصغره خلال مرحلة الملء ومدتها (17s)

2- المرحلة الثانية: مرحلة انتقال الحرارة من المسبوكة للقالب ومن القالب للمحيط الخارجي ومدتها (245s) وهي توافق مرحلة التجمد

3- المرحلة الثالثة: مرحلة انتقال الحرارة عبر القالبين الجانبي والسفلي للوسط الخارجي، ومن المسبوكة للقالب العلوي، ومن القالب العلوي للوسط الخارجي وزمن هذه المرحلة (25s)

4- المرحلة الرابعة: انتقال الحرارة من القالبين الجانبي والسفلي والعلوي للوسط الخارجي وزمنها (35s)

مع العلم معامل التوصيل الحراري للألمنيوم أكبر من معامل التوصيل الحراري لمادة القالب حيث AL356(134÷163)w/m.k أما معدن القالب H13(24÷28)w/m.k[64]

6-6 السيولة (flowability or fluidity):

السيولة هي إحدى الخواص السبائكية (التكنولوجية) للمعادن وسبائكها[65] وتعني إمكانات المعدن ملء فجوة القالب ملئاً جيداً أو هي المسافة التي يقطعها السائل قبل حدوث التجمد[66]:

$$fluidity = \frac{\rho_s * h_m * r * v}{2K(T_m - T_o)} \qquad (\text{Eq } 6-4)$$

T_o: درجة حرارة القالب T_m: درجة حرارة المصهور ρ_s: كثافة الجامد

r: نصف قطر قناة التغذية K: معامل انتقال الحرارة في الطبقة الحدودية بين القالب والجامد

h_m: حرارة التحول الطوري الانصهاري للجامد v: سرعة السائل لحظة دخوله القالب

ومن أهم العوامل المؤثرة في السيولة[67]:

---

[64] Maijer.et al، p303

[65] عازار ص 40-45

[66] يعقوب ص 17

[67] يعقوب ص 35-39

- المواد النقية (pure) أو اليوتكتيك (eutectic) تعطي سيولة أكبر مقارنة بالسبائك وتسمى بالمواد ذات مجال التجمد الضيق (short freezing rang) (المسافة بين خط الميوعة liquids (L) وخط التجمد solidus (S))، حيث تتجمد بنمو سطحي مستوي (planar growth) وليس نمو دندريتي (غصيني) (dendrite) كالذي يشاهد عند الكثير من السبائك ، وهذا يفسر بأن الغصينات (dendrit) المتشكلة والمتشعبة بشكل كبير تمنع حركة السائل وبالتالي تؤدي لسيولة منخفضة
- زيادة درجة الحرارة فوق خط الانصهار (super heat) يزيد من مقدار السيولة، ولكن هذا الفعل يبطئ زمن التجمد ويؤدي للحصول على بنية مجهرية خشنة وبالتالي خواص ميكانيكية ضعيفة للمسبوكة
- المسبوكات ذات الجدران السميكة تكون فيها السيولة جيدة وأفضل من المسبوكات ذات الجدران الرقيقة
- من العناصر التي تزيد الميوعة هي الفحم فإذا كانت نسبة الفحم في الحديد فوق 0.8% تزيد الميوعة لذا ميوعة حديد الصب أكبر بمرتين من ميوعة الفولاذ، كما أن النحاس والسيليكون يزيدان السيولة
- من العناصر التي تقلل الميوعة الكروم إذا زادت نسبته (Cr>1.5%) والألمنيوم أيضاً لأنهما يتسببان في تشكل قشور سطحية (أغشية)، كما أن الكبريت يقلل الميوعة

6-7 تبلور المصهور (crystallisation):

إذا انخفضت درجة حرارة السبيكة لتحت درجة حرارة التجمد وتحت ظروف معينة يتغير طور السبيكة من السائل إلى الجامد ويعبر عن تغير الطور هذا بالمفهومين التاليين:

- التبلور الأولي (primary crystallisation)
- التجمد (solidification)

فعملية التبلور الأولي تتابع تشكل البلورة من السائل وتبلور الأجسام المختلفة في المسبوكة وكذلك شكل وبنية البلورات أما التجمد فيدرس تزايد الطور الجامد ونقصان الطور السائل في أجزاء مختلفة للمسبوكة

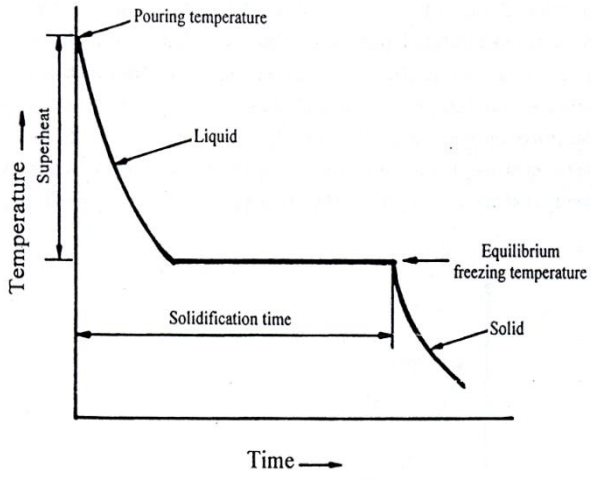
– عندما يملأ المصهور فجوة القالب يقوم بملامسة نتوءات سطح القالب البارد وعندها تنشأ أنوية التجمد (nucleation) أو مايسمى (مراكز التبلور) أو (خلايا التبلور) أو (بذور التبلور) وتصبح

كنقاط للاتصال مابين الطورين السائل والجامد من أجل عملية التوصيل الحراري وينشأ عندها مايسمى الجامد الأولي أو الابتدائي مما يؤدي لتشكل البلورات [68]

6-7-1 <u>أنواع عملية التبلور</u>: نميز هنا نوعين للتبلور [69]

- تبلور ذاتي (spontaneous crystallisation)
- تبلور حقيقي (real crysatallisation)

- في المعدن النقي (ذو التبلور الصافي) في الحالة السائلة والذي يخضع لتبريد سريع وفي درجة حرارة أخفض من حرارة نقطة الانصهار(liquidus) أو حرارة نقطة التجمد (لأن له درجة حرارة واحدة للانصهار والتجمد وهي T_m) تتشكل بذور التبلور الذاتي وعليها تنمو البلورات الأولية. حيث فوق درجة الحرارة T_m للطور الصلب طاقة حرارية حرة أعلى (free energy) من السائل لذا فإن السائل يكون مستقراً والطور الموجود هو الطور السائل،أما تحت درجة الحرارة T_m فللمادة الصلبة طاقة حرة أقل والشكل (6-1) يوضح منحني تبريد المعادن النقية:



الشكل (6-1) منحني تبريد المعادن النقية

- لايحدث في المعادن الحقيقية والسبائك تبلور ذاتي لأنها غير نقية تماماً، فقبل وصول درجة الحرارة إلى تلك التي عندها تتشكل البذور الذاتية يبدأ التبلور الحقيقي من بذور أخرى غريبة موجودة في المعدن المنصهر خلال عملية الصهر. أي يتطلب للمصهور درجة تبريد (degree of under cooling) لكي تبدأ بلورة البذرة بالتشكل.

[68] عازار ص 17
[69] يعقوب ص 196-198

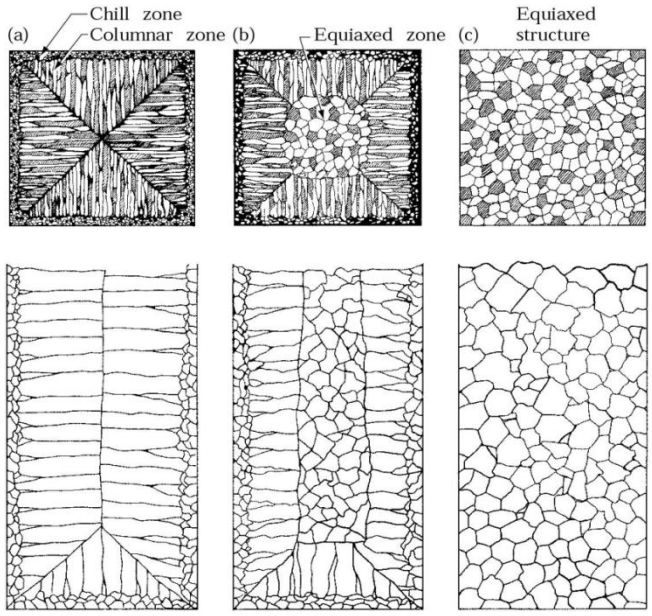
– كلما كان عدد خلايا التبلور في وحدة الحجم أكبر كان عدد البلورات المتشكلة في هذا الحجم أكثر وبالتالي كانت حجوم هذه البلورات أقل ونتيجة لذلك ستكون الخواص الميكانيكية للمسبوكات أفضل لذا فإنه يضاف عمداً لبعض السبائك خلايا تبلور وتسمى هذه العملية بالتلقيح وتسمى بذور التبلور المضافة هذه اللقاح.

– الأمكنة التي فيها تبرد المسبوكة بسرعة عالية جداً لا تتشكل فيها بلورات منتظمة وفي الأمكنة التي تبرد فيها المسبوكة ببطء لا تتشكل بلورات متطاولة.

– في حال المعادن الصافية تتشكل البلورات النقية وتنمو عمودياً على جدار قالب السباكة وصولاً للمركز كما في الشكل (6–2) (a)

– أما في حالة الخلائط فإن البلورات العمودية لا تمتد حتى مركز المسبوكة بل تتشكل هنا منطقة وسطة من البلورات كما في الشكل (6–2) (b)

– وبإضافة بذور تبلور غريبة مثل الصوديوم، المغنزيوم، البزموت، تتشكل بلورات المنطقة الوسطى وتمتد على كامل المسبوكة كما في الشكل (6–2) (C)



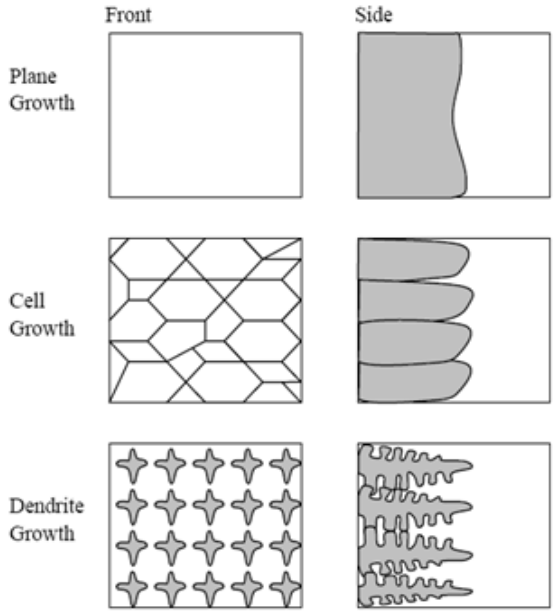
الشكل (6–2) البنية الميكروية للبلورات المتشكلة في المسبوكات

6–7–2 البنية الميكروية للبلورات الأولية في خلائط العجلات (Al–Si):

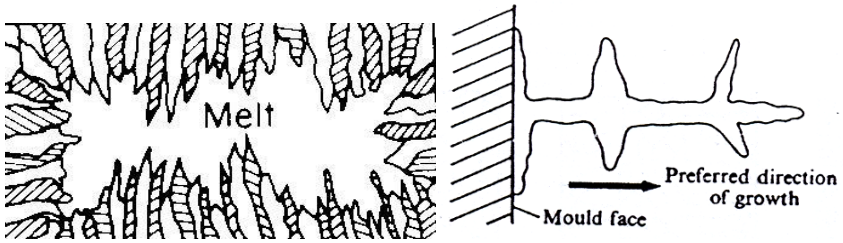
إن بذور التبلور وكما وضحنا سابقاً تنشأ وتنمو تحت تأثير القوى التبريدية وعلى مستويات فرط التبريد، وبناءً على ذلك تختلف بنية الصلب المتجمد. فيمكن أن يكون النمو مستوي مستقر (planner

growth) من ذراع واحدة أو أن يكون النمو مسامي خلوي بشكل خلايا (cellular growth) من عدة خلايا أو أن يكون بشكل تغصنات (dendrite growth) كما يبين ذلك الشكل (6–3)[70]

وفي بحثنا هذا تتم مناقشة النمو الدندريتي كما يوضحه الشكل (6–4)[71] لما له أهمية لأنه نمط النمو الغالب لجميع النوى المتجمدة والأشكال التالية توضح وبالتكبير النمو العام لذراع الدندريت على سطح جدار قالب السباكة باتجاه المركز



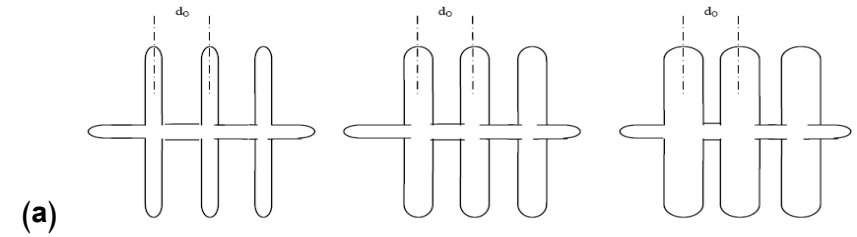
الشكل (6–3) الأنماط المختلفة لبلورات الصلب المتجمد

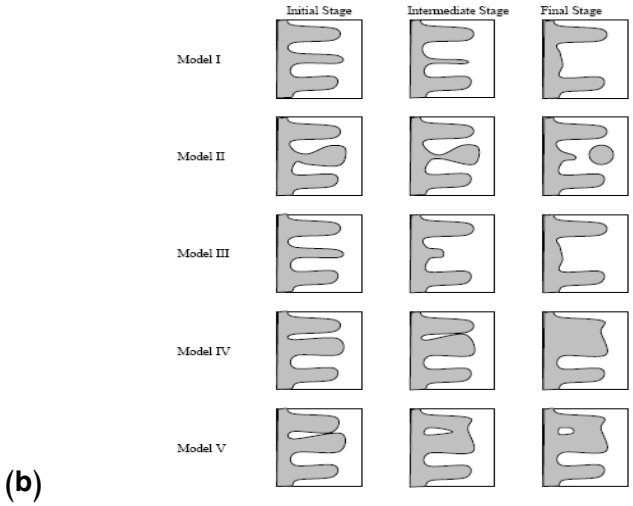


الشكل (6–4) نمو الذراع الدندريتي على سطح جدار قالب السباكة باتجاه المركز

ولقد وضح العالم فليمنك (Flemings) هذه الظاهرة حيث كان التوقع الابتدائي بأن التباعد مابين أذرع الدندريت (d_o) المتشكل هو بعد ثابت لا يتغير في جميع الأذرع سواء الابتدائية أو النهائية كما في الشكل (6–5)a ، لكن فليمنك لاحظ فيما بعد التعديلات الطارئة على أذرع الدندريت المتشكل حيث تبين أنه يتم انحلال وذوبان لبعض الأذرع فيما بينها وإحدى هذه الأذرع يصبح المسيطر ومايجاوره من أذرع يذوب فيه أو ينصهر وهذا يؤدي لزيادة أبعاد الأذرع المسيطرة كما في الشكل (6–5)b[72]

[70] Lee، p33-34
[71] Colton، p23-24
[72] Lee، p33-36

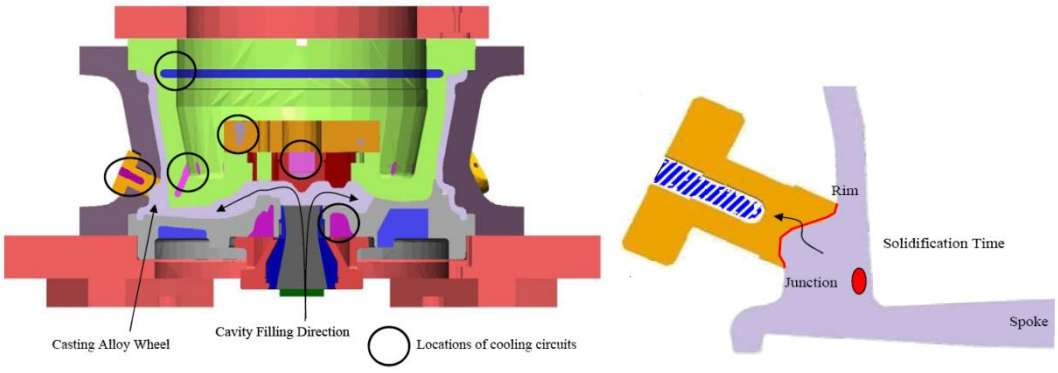




الشكل (6-5) النظرة المبدئية والتعديلات الطارئة على أذرع الدندريت المتشكلة

6-8 ضبط عملية التجمد في العجلة المسبوكة:[73]

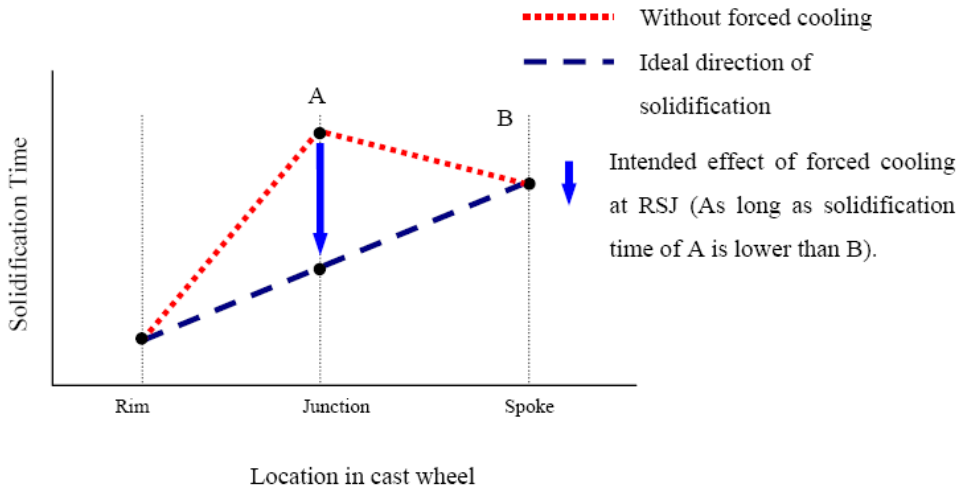
وسنركز في عملية الضبط هذه على منطقة الاتصال مابين rim و spoke (rsj) لأنها من المناطق الميالة لتشكيل فجوات مسامية فيها بسبب إحداثياتها الهندسية وكتلتها الكبيرة واتصالها مع منطقة rim الرقيقة جداً، لذا ومن المفيد لمنع تشكل الفجوة في تلك المنطقة وضع نقطة تبريدية (chill) خارجية أو داخلية كما في الشكل (6-6):



الشكل (6-6) موضع الضبط الحراري في منطقة rim spoke junction(rsj) لقوالب سباكة العجلات ذات أساس الألمنيوم

[73] Lee، p9-12

والشكل (6-7) يمثل اتجاه عملية التجمد لأجزاء العجلة المسبوكة وأزمنتها:



الشكل (6-7) المخطط التمثيلي لتجمد منطقة (rsj) من العجلة المسبوكة

حيث يتبين من هذا الشكل أن منطقة الاتصال (rsj) سابقة الذكر لها زمن تجمد أكبر من باقي أجزاء العجلة لذا ستتشكل فيها الفجوة الهوائية سابقة الشرح أيضاً، وسيكون التمثيل النظري لزمن التجمد في الشكل هو بالخط الأحمر المنقط، لذا من الضروري تقليل زمن تجمد منطقة الاتصال والممثلة بالرمز A إلى مادون النقطة B الممثلة لزمن تجمد منطقة spoke عن طريق القوى التبريدية سابقة الذكر ويستبدل حينها الخط الأحمر المنقط بالخط الأزرق المنقط ليصبح زمن تجمد منطقة الاتصال أقل من زمن تجمد منطقة spoke

6-9 مقياس SDAS (secondary dendrite arm spacing):[74]

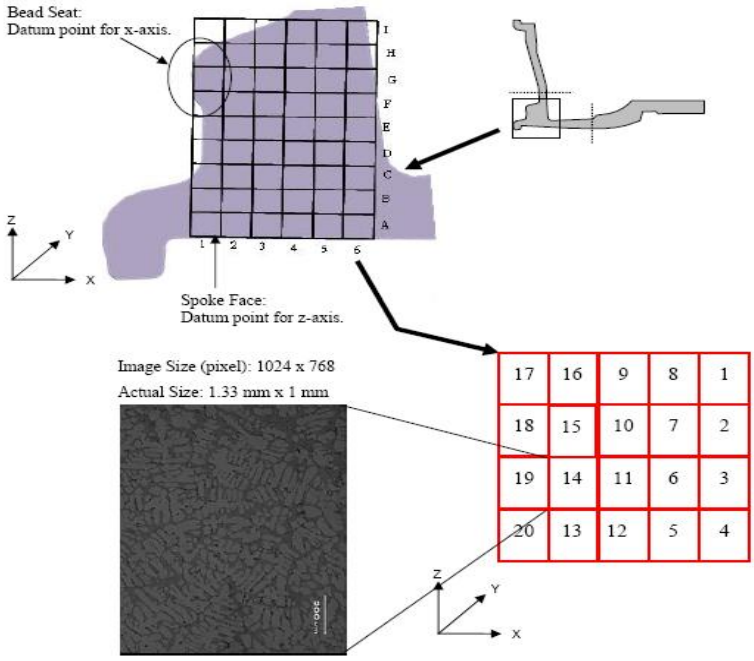
إن هذا المقياس من أهم مميزات تقييم البنى المنتجة بطرائق السباكة وفعاليتها ودقتها، ويعبر عن مقدار التباعد مابين أذرع الدندريت الثانوية المتشعبة، لذا فإن القيم المنخفضة لهذا المعامل تدل على البنى الناعمة الدقيقة النقية ذات معدلات التبريد الجيدة والقيم العليا لهذا المعامل تدل على البنى الخشنة ذات معدلات التبريد العالية جداً أو الضعيفة.

يتم الكشف عن مقياس (SDAS) عبر دراسة مجموعة من العينات المسبوكة بعد تحضيرها.

تؤخذ أغلب عينات الدراسة للعجلة المسبوكة من منطقة (spoke) نظراً لأهمية هذه المنطقة، حيث يتم أخذ سبع عينات تقريباً منفصلة وموزعة على محيط العجلة المسبوكة ثم تحضر العينة وتؤخذ حينها الصورة الإشعاعية في مجال بعد (5*5)mm من منطقة spoke المقسمة لعدة أجزاء من هذا

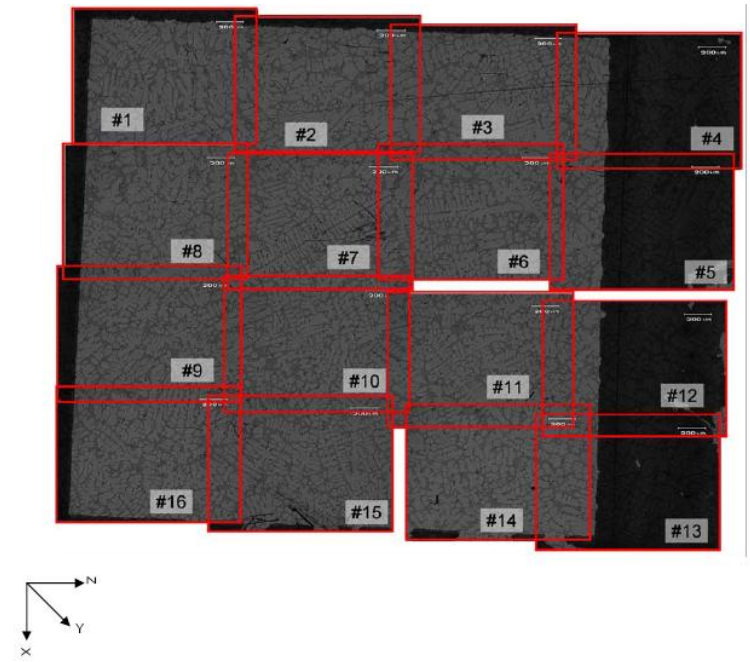
[74] Lee، p47-55

القياس، بعدها يتم التركيز والتكبير لصورة جديدة ضمن الصورة السابقة في مجال تقسيم (1.33*1)mm كما يوضح ذلك الشكل (6-8) :



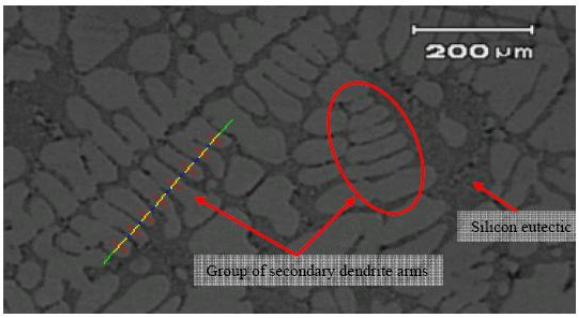
الشكل (6-8) طريقة حساب مقياس (SDAS)

وبترتيب الصور المركزة الناتجة بجانب بعضها البعض لتشغل بعد (5*5)mm من منطقة spoke نحصل على صورة كاملة وجاهزة يتم إدخالها إلى برنامج خاص للحصول على مقياس SDAS كما في الشكل (6-9) :



الشكل (6-9) الصور المجمعة في مساحة 5*5 mm

حيث تتم معايرة الصورة في برنامج خاص للحصول على صورة نهائية كما في الشكل (6-10) ليتم الكشف عن أذرع الدندريت المضيء (بلورات الألمنيوم) ومايحيط به من يوتكتيك مظلم كما في الشكل:



الشكل (6-10) مقياس SDAS في العينة المدروسة

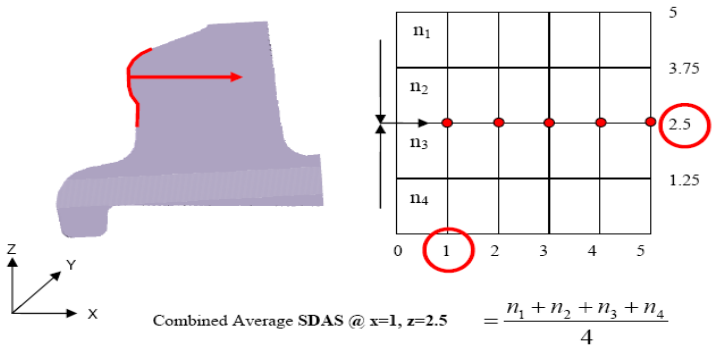
يمكن بواسطة الخط الأصفر المرسوم المعامد لاتجاه نمو أذرع الدندريت الثانوية قياس التباعد مابين مركزي كل ذراعين ثانويين متجاورين وبالتالي الحصول على مقياس SDAS للصورة المعنية بالميكرون. وبإعادة العملية السابقة ستة عشرة مرة أي الحصول على ستة عشرة صورة من المنطقة السابقة ذات الأبعاد mm(5*5) نحصل على ستة عشر قياس لمقياس SDAS ليتم بعدها تنظيم هذه القياسات في برنامج اكسل وأخذ المتوسط لهذه القيم للحصول على مقياس SDAS النهائي لهذه المنطقة (spoke) والذي على أساسه يتم تقييم البنية المسبوكة الناتجة. مع العلم أنه يجب أخذ حوالي 400 قراءة لمقياس SDAS لكل عينة لها زمن تبريد خاص بها كي يتم الحصول على فعالية ودقة أكبر في النتيجة النهائية للقياس.

6-10 العوامل المؤثرة في مقياس (SDAS):

1 - معدل التبريد 2- نوع معدن سبيكة (AL-Si) 3- تأثير السيولة

6-10-1 تأثير معدل التبريد في مقياس (SDAS):

إن الشكل التالي (6-11) يمثل المقطع العرضي لمنطقة الاتصال المدروسة (rsj) سابقة الذكر مع وجود نقطة تبريد (chill) في هذه المنطقة بالموقع (z=32.5،x=0) أيضاً وبافتراض أن اتجاه التدفق الحراري يتم عبر المحور (x)



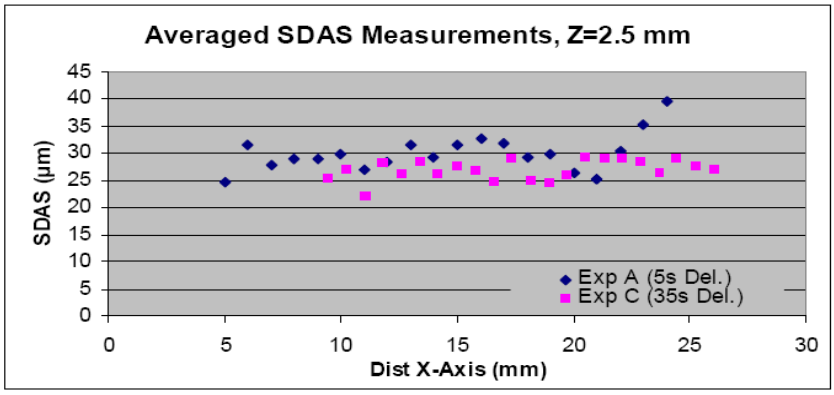
الشكل (6-11) طريقة قياس SDAS بوجود قناة تبريد

- بداية سوف نقوم بقياس SDAS بوجود قناة تبريد:

لذا فإن القيمة النهائية تؤخذ كمتوسط لكل أربعة قياسات على طول المحور (z) لكل نقطة من المحور (x)، وتتكرر العملية عند كل 5mm على طول المحور (x) ليتم الحصول على قيم متوسطة لمقياس SDAS. حيث تؤخذ المقاسات على المحور (z) عند كل قيمة من القيم الثمانية التالية:

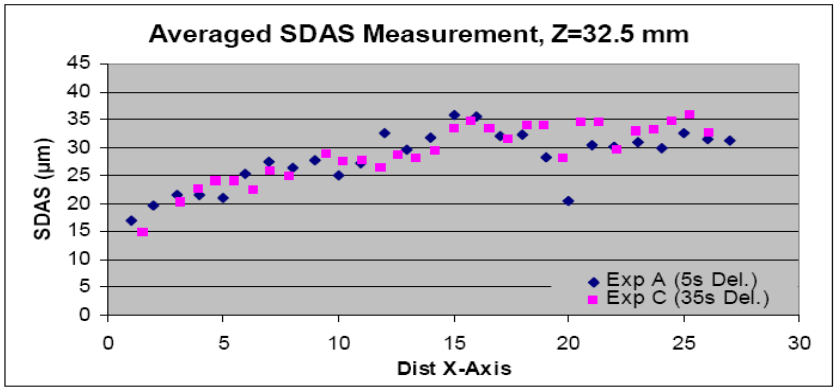
(2.5 - 7.5 - 12.5 - 17.5 - 22.5 - 27.5 - 32.5 - 37.5)

ونتائج قياس مقياس SDAS تمثل بثمانية مخططات وفق القيم المأخوذة على المحور (z) لعينتين (A،C) تختلفان عن بعضهما بزمن التبريد (5s،35s) على التوالي وإحدى هذه المخططات (6-12) (6-13)[75]



الشكل (6-12) معدلات مقياس (SDAS) عند z=2.5mm

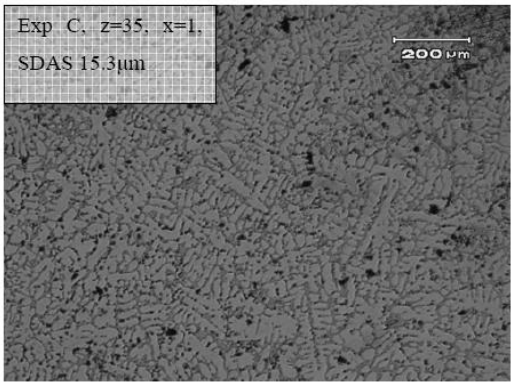
[75] p56-76،Lee



الشكل (6-13) معدلات مقياس (SDAS) عند z=2.5mm

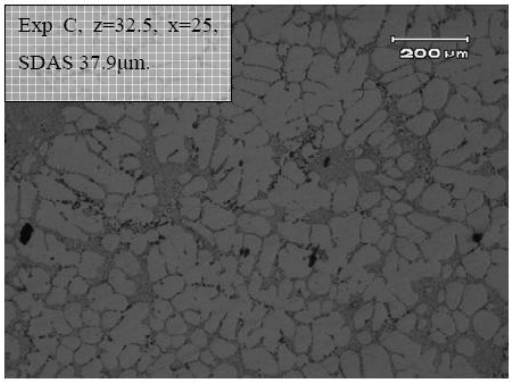
- النتائج:

- العينات ذات معدلات التبريد الأكبر نسبياً أو الأقرب لنقطة التبريد توافق مقياس SDAS أقل وبنية أنعم كما يبين ذلك الشكل (6-14)
- إن أذرع الدندريت الناعمة ذات المقاييس الدقيقة توافق (0÷10)mm على المحور x، ويلاحظ مقياس SDAS ناعم جداً عندما x=5mm
- تم الملاحظة على أن مقياس SDAS له قيم متباينة جداً في مناطق البقع الساخنة والتي تقع في مجال (15÷25)mm على طول المحور x كما يبين ذلك الشكل (6-15)



الشكل (6-14)

الدندريت المتشكل بالقرب من قناة التبريد



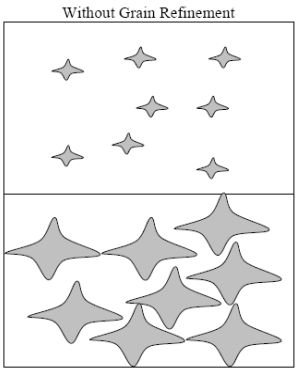
الشكل (6-15)

الدندريت الخشن المتشكل بالقرب من منطقة البقع الساخنة hot spot في منطقة الاتصال

6-10-2 تأثير نوع معدن سبيكة (Al-Si) في مقياس (SDAS):[76]

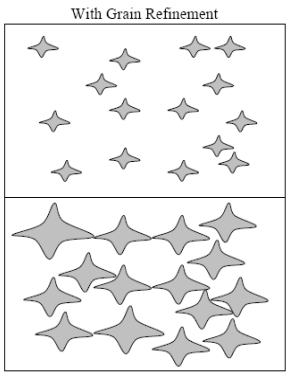
والشكل (6-16) يوضح الدندريت المتشكل لبنية ميكروية بدون وجود بذور تبلور مضافة ، وعندها تتشكل أنوية تجمد الألمنيوم أثناء بداية عملية التجمد وفرط التبريد الكافي ليتم تشكل بنية دندريتية خشنة تأخذ فيها الأذرع الدندريتية النمو بشكل مستقل لتأخذ حيزها وترتطم ببعضها البعض لتشكل مايشبه القفل وعندها نحصل على بنية خشنة بسبب كبر الأذرع الدندريتية وبالتالي كبر مقياس (SDAS) وكبر حيز الفراغات وظهور الكسور في البنية الصلبة الناتجة.

أما في حالة تشكل البنية الميكروية لخليطة الألمنيوم والسليكون ذات البلورات الدقيقة والناعمة كما في الشكل (6-17) فإن أنوية التجمد تتشكل ولكن الاختلاف الجوهري عن الحالة الأولى هي أن هذه الأنوية ذات كثافة أكبر في وحدة الحجم بسبب وجود جزيئات غريبة مضافة تؤمن مواضع نمو إضافية وبالتالي حيز فراغات أقل في البنية وبالتالي سنحصل على مقياس (SDAS) أقل من الحالة الأولى



الشكل (6-16)

الدندريت المتشكل بدون وجود بذور تبلور مضافة



الشكل (6-17)

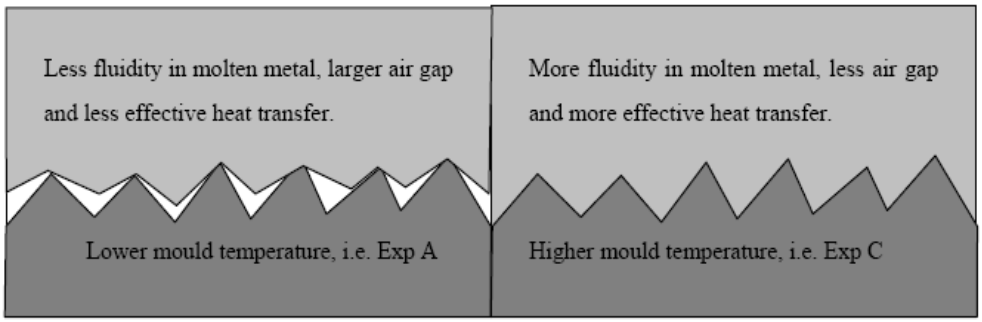
الدندريت المتشكل بوجود بذور تبلور مضافة

6-10-3 تأثير السيولة في مقياس (SDAS):[77]

إن لزمن التبريد تأثير كبير في سيولة المعدن المصهور حيث يزداد معامل التوصيل الحراري مابين سطحي القالب والمسبوكة (interfacial) عندما تكون درجة حرارة القالب مرتفعة لأن هذا يؤدي لاحتفاظ المصهور بفرط الحرارة بشكل أكبر وزيادة لزمن التبريد بشكل أكبر وبالتالي زيادة السيولة للمصهور وتحسين نقاط التلامس مابين سطحي القالب والسائل المصهور وتقليل تشكل القميص

[76] Lee، p90-92
[77] Lee، p74-76

الهوائي بينهما (air gap) و زيادة كمية الحرارة المزالة من المسبوكة وزيادة معدلات التبريد وعندها نلاحظ تشكل أذرع دندريتية أنعم وأدق. كما يوضح ذلك الشكل (6-18):



الشكل (6-18) تأثير تسخين القالب في سيولة المصهور والأذرع الدندريتية المتشكلة

الفصل السابع

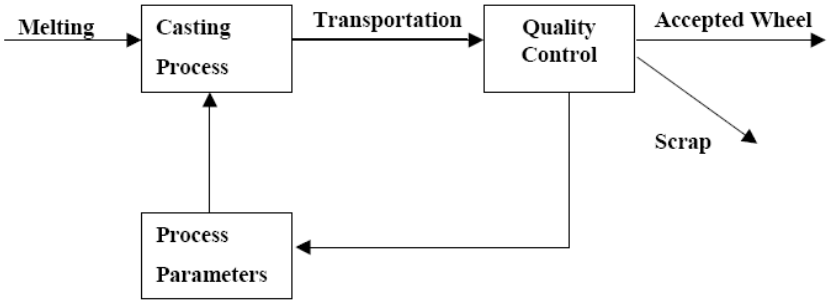
تقييم البنية الناتجة ومدى دقتها ونعومتها وانتشار العيوب فيها

7-1 مقدمة:

إن عملية التفتيش ومراقبة جودة المسبوكات وتحديد المقبول والمرفوض منها من الأمور الهامة جداً في مجال تقييم البنى الناتجة عن عمليات السباكة المختلفة.

رغم جميع العيوب والمساوئ الناتجة عن عملية السباكة وفي ضوء التكاليف الإجمالية المرتفعة ومحدودية الشكل لمعظم عمليات التشكيل تؤكد أن المنافسة تكون دائماً لصالح منتجات عمليات السباكة[78]

إن المخطط التالي الشكل (7-1) يوضح عملية تقييم العجلات المنتجة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض[79]، بحيث يمكن تغيير بارامترات العملية ضمن حدود الجودة المطلوبة وبذلك نستطيع تحديد نتيجة العملية (هل العجلة المسبوكة مقبولة أم مرفوصة)



الشكل (7-1) مخطط تقييم العجلات بطريقة السباكة بالضغط المنخفض

7-2 الأسباب العامة لتشكل عيوب عملية السباكة:[80]

يبدأ ظهور العيوب في المسبوكات بدءاً من صب المعدن من فرن الصهر ولا ينتهي بتجمد معدن المسبوكة فحسب بل يمتد ظهور بعض العيوب إلى ما بعد تبريدها حتى حرارة المحيط حولها، حيث يبدأ المعدن أثناء عملية الصب أو بعدها مباشرة بالتبلور، وعندها تتكون قشرة متجمدة متماسكة أو غصينات بلورية (dendrite) وتتقلص خطياً وتستمر عملية التقلص هذه خلال تبريد المسبوكة إلى أن تصبح باردة، ويتوقف التقلص عندما تتساوى درجة حرارة المسبوكة مع درجة حرارة الوسط الخارجي، وبسبب هذا التقلص تتشكل في المسبوكات عيوب كثيرة.

ومن الأسباب العامة لتشكل العيوب:

- التصميم الخاطئ للمسبوكة أو قالب السباكة

[78] عازار ص 9-11
[79] ÇETİNEL، p49-50
[80] يعقوب ص11-14، 177

- التصميم الخاطئ للنواتات واختيار رمل السباكة الغير صحيح في السباكة الرملية
- التصميم الخاطئ لبوابة الصب والمغذي
- الاختيار الغير الصحيح لمكونات معدن السباكة
- الضبط الغير الصحيح لمعدلات انتقال الجريان الحراري بين المسبوكة والمحيط

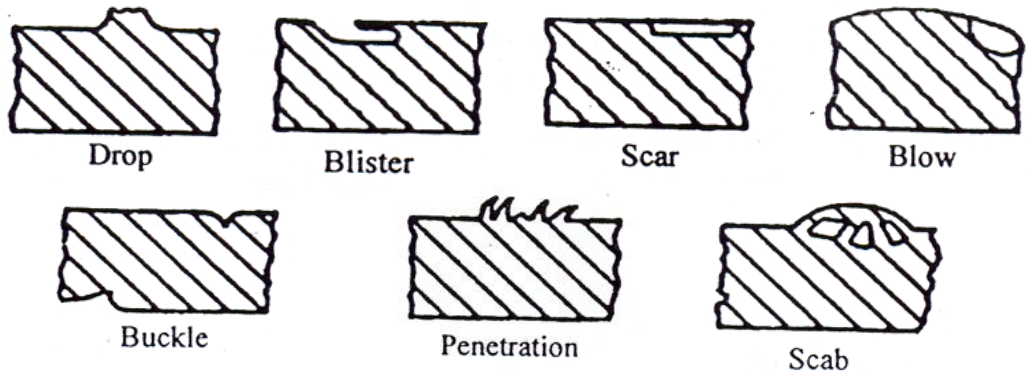
3-7 التصنيف العام لعيوب منتجات عمليات السباكة:

نستطيع أن نصنف عيوب عمليات السباكة بشكل عام كالتالي[81] :

1 - **عيوب سطحية (Surface Defects)** وهي مبينة بالشكل (7-2) وأغلب هذه العيوب في عمليات السباكة الرملية لذلك لم نتطرائق بالبحث عنها بشكل تفصيلي ومن هذه العيوب:

Blow: وهي فجوة (cavity) كبيرة نسبياً تنتج بسبب الغازات التي تزيح المصهور عن السطح المحدب (convex) للمسبوكة وممكن أن تحصل في مسبوكات القوالب المعدنية أيضاً

buckle – Penetration – scab – drop – blister –Scar : وجميعها عيوب تحدث في المسبوكات الرملية



الشكل (7-2) الأشكال العامة للعيوب السطحية (Surface Defect)

2 - **عيوب داخلية (Internal Defects):** وتحصل هذه العيوب بشكل رئيسي بسبب:

- قوى الرك الكبير على رمال السباكة
- التنفيس الغير صحيح أو الغير كافي لقالب السباكة
- وجود رطوبة زائدة في رمل السباكة
- وجود غازات محصورة ضمن المسبوكة
- تلوث وعدم نقاء معدن السباكة

[81] Colton، p6-7

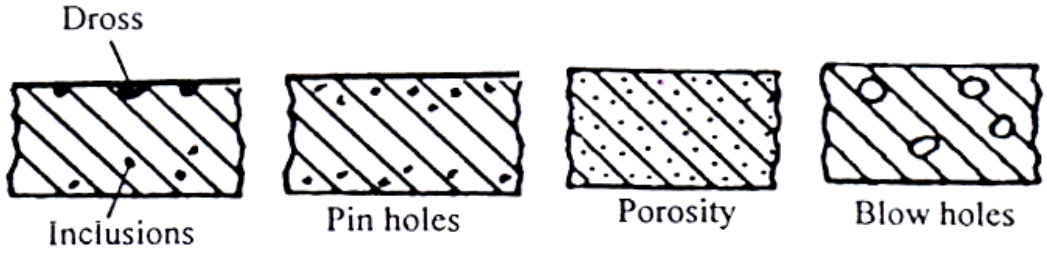
ومن هذه العيوب الشكل (7–3) :

Blow holes: وهي فقاعات غازية كبيرة كروية الشكل تتشكل ضمن المسبوكة

porosity: وهي توزع عدد كبير من ثقوب دقيقة بشكل منتظم

Pin holes: وهي ثقوب دبوسية دقيقة جداً تظهر تحت سطح المسبوكة

inclusions: وهي جزيئات غير معدنية أو شوائب داخلية تتواجد في خليطة المعدن. وإن الشوائب ذات الوزن النوعي الخفيف جداً تظهر على سطح المسبوكة وتسمى (dross)



الشكل (7–3) الأشكال العامة للعيوب الداخلية (Internal Defects)

3 – **عيوب مرئية (Visible Defects):** وتحصل هذه العيوب بشكل رئيسي بسبب:

– قوة تحمل القالب ضعيفة

– نقص في تزويد المعدن المصهور وقلة سيولة المصهور

– درجة حرارة الصب المنخفضة

– التصميم السيء للقالب أو للمسبوكة ونقص ثقوب التنفيس في القالب

ومن أهم هذه العيوب والتي تخص السباكة في القوالب المعدنية الشكل (7–4) :

Cold shut : تحدث هذه العيوب عندما يلتقي تياران من السائل المصهور من منطقتين مختلفتين وعندها تظهر طبقة أكسيدية في منطقة الالتقاء وهذا نتيجة السيولة غير الكافية أو استخدام طريقة غير صحيحة لتدفق السائل المصهور أو الصب المتقطع أو قلة فرط التسخين الواجب تأمينه للمصهور له والحل هو زيادة درجة حرارة الصب أو فرط تسخين القالب.[82]

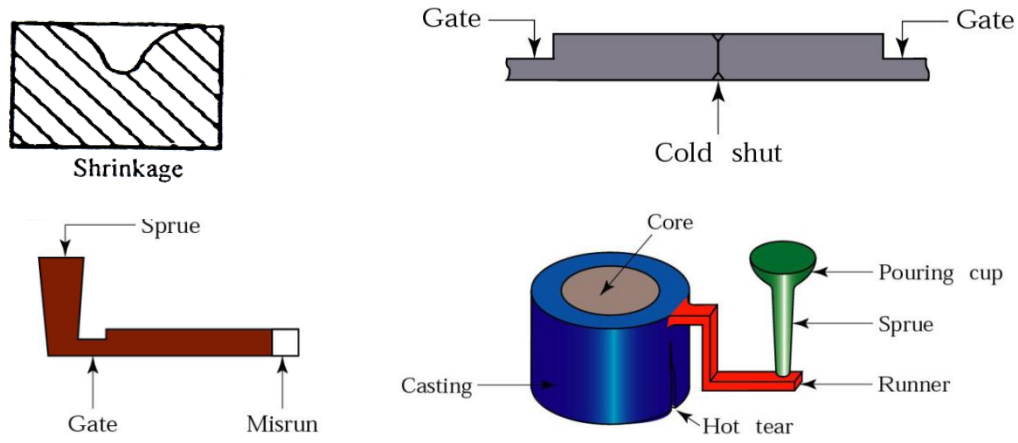
Misruns: ويحدث هذا العيب عندما يوجد تقصير بملء القالب أو بسبب السيولة المنخفضة للمصهور ويظهر كثقب ناعم وغير منتظم مع حواف مدورة كما أن التنفيس السيء للقالب

[82] ÇETİNELp32

والنوى يمكن أن يكون له تأثير سيء ونستطيع تخفيض هذا العيب برفع درجة حرارة الصب وتعديل قياس وعدد مداخل المعدن وثقوب التنفيس.[83]

Hot tear (التدمع الحار): وهو كسر ساخن في مجال التبريد يحدث في المسبوكة بسبب الإجهادات المتبقية العالية

Shrinkage (عيوب الانكماش): وتحدث هذه العيوب بشكل رئيسي بسبب تقلص المسبوكة أثناء تجمدها وممكن أن تحصل أيضاً بسبب الاستخدام غير الصحيح للصاعد



الشكل (7-4) الأشكال العامة للعيوب المرئية (Visible Defects)

7-4 تصنيف عيوب المسبوكات ضمن مجال العملية:

7-4-1 عيوب المسبوكات في مجال التجمد:

خلال مجال التجمد بين النقاط (3-4) من منحني تبريد المسبوكات كما في الشكل (7-5) تحدث داخل المسبوكة حوادث فيزيائية وكيميائية من نتائجها:

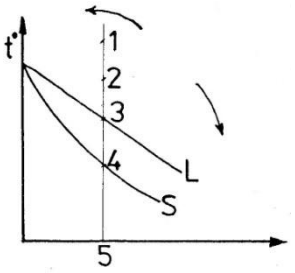
1 - تكون الفجوات: وتسمى هذه العملية أيضاً السحب (المص) shrink

2 - عيوب الثقوب (hole type defects) وانطلاق الغازات وتشكل الفقاعات الداخلية في المسبوكة: وستتم دراستها في الفقرة الخاصة بعيوب العجلات المسبوكة بخلائط الألمنيوم

3 - عيوب في الطور المزدوج وحدوث السكرجة (segregation) (الانعزال)

4 - البقع المعزولة الساخنة (hot spot) وستتم دراستها في الفقرة الخاصة بعيوب العجلات المسبوكة بخلائط الألمنيوم

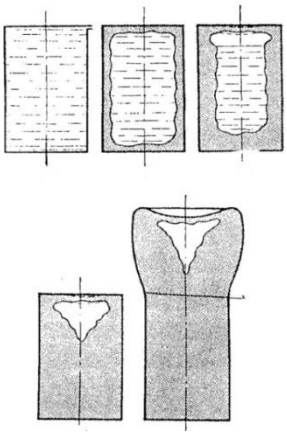
[83] ÇETİNELp32



الشكل (7-5) مجالات تبريد مسبوكة تبعا لدرجة الحرارة

7-4-1-1 تشكل الفجوات في المسبوكات:

- **الفجوات (shrinkage):** هي عبارة عن فراغات في المسبوكة تتشكل نتيجة تقلص المعدن أثناء تجمده أي تحوله من الطور السائل إلى الطور الجامد ويستمر تشكلها ابتداءً من بدء التجمد وحتى نهايته ، يمكن أن تشغل %(5÷10) من حجم المسبوكة والشكل (7-6) يبين مراحل تشكل الفجوة:



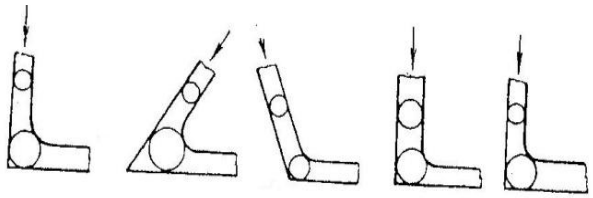
الشكل (7-6) مراحل تشكل الفجوات في المسبوكة

أسبابها: إن تشكل الفجوات في المسبوكات هو نتيجة التغيرات الحجمية أثناء التجمد وهي[84]:

- تغيرات الحجم عند التحول من الطور السائل إلى الطور الجامد، ويظهر هذا التقلص بانخفاض سطح المعدن في القالب
- التغيرات الحجمية للطور الجامد أثناء التجمد المتمثلة بتقلص القشرة المتجمدة وبعد الانتهاء من عملية التجمد

أماكنها: إن مكان تشكل الفجوة يعتمد كلياً على تصميم المسبوكة وتتشكل الفجوة عادة في أماكن تسمى العقد الحرارية للمسبوكة كما في الشكل (7-7):

[84] يعقوب ص 223-230 ، 237-239



الشكل (7–7) النماذج الشائعة للعقد المتشكلة من الاتصال الطولاني للجدران

إن لمكان تشكل الفجوة أهمية أكبر بكثير من حجمها لذا يمكن التحكم بهذه الناحية إذا أمكن التحكم في الحقل الحراري، ولكي لا تتشكل الفجوة في المسبوكة فيلزم تزويد المسبوكة بجزء إضافي يسمى بالمرضع أو المغذي (feeder) بحيث تتشكل الفجوة في هذا المغذي الذي يقطع فيما بعد ونحصل على مسبوكة جيدة خالية من الفجوات أو عن طريق تزويد مكان العقدة بالمبردات (chills)، بشرط عدم تعرضها لجريان المعدن خلال ملء المسبوكة، ويستخدم نوعين من المبردات هما:

1– المبردات الداخلية: وهي قطع معدنية ذات أشكال وحجوم معينة تغرز في العقدة الحرارية المراد إصلاحها، ويجب أن يكون معدنها من معدن المسبوكة نفسها.لا ينصح باستعمال المبردات الداخلية في المعادن التي يتشكل فيها أكاسيد وقشور لأن التحام المبرد بالمعدن حينها يكون صعباً مثل مسبوكات سبائك الألمنيوم.

2– المبردات الخارجية : وهي لقم معدنية توضع في سطح القالب وتطلى بمادة خاصة قبل الصب، وتكون معدنية في أغلب حالاتها لتنقل الحرارة بسرعة أكثر من الأجزاء الأخرى في القالب ويمكن أن تكون من معدن آخر غير معدن المسبوكة حيث تصنع عادة من حديد الصب الرمادي ويمكن أن تكون من الفولاذ أو من سبائك النحاس والألمنيوم أو من معادن نقية من النحاس والألمنيوم.

ولزيادة تأثير المبرد في حالات خاصة يمرر سائل عبر قنوات كالهواء المضغوط الرطب أو الماء.

والجدول التالي [85] يبين نسب الانكماش الحجمي أثناء عملية تجمد المسبوكات لبعض المعادن والخلائط وكما نلاحظ أن نسبة انكماش الألمنيوم هي الأكبر قيمة:

جدول (7–1) نسب الانكماش الحجمي أثناء عملية تجمد المسبوكات لبعض المعادن

Metal or alloy	Volumetric solidification contraction	Metal or alloy	Volumetric solidification contraction
Aluminum	6.6	70%Cu–30%Zn	4.5
Al–4.5%Cu	6.3	90%Cu–10%Al	4

[85] Colton، p4-5

Al4Al–12%Si	3.8	Gray iron	Expansion to 2.5
2.5Carbon steel	2.5-3	Magnesium	4.2
1% carbon steel	4	White iron	4-4.5
Copper	4.9	Zinc	6.5

7–4–2 عيوب المسبوكات في مجال التبريد:

كثيراً من العيوب تحدث في المسبوكات بعد تجمدها أي خلال تبريدها من خط التجمد (solidus) وحتى درجة الحرارة العادية للمحيط بين النقطتين (5–4) أي خلال تقلص المعدن في الحالة الجامدة كما في الشكل السابق (7–5)، وتنتج هذه العيوب غالباً بسبب الإجهادات الحرارية التي تتشكل نتيجة التقلص الخطي للمسبوكة خلال زمن تبريدها[86]

يعطى التقلص الكلي ΔL للمسبوكة بالفرق بين أبعاد القالب (النموذج) وأبعاد المسبوكة ويعبر عنه بالعلاقة:

$$\Delta L = l_o - \alpha(t_s - t_o) \qquad \text{(Eq 7 – 1)}$$

ΔL : التقلص l_o: طول النموذج

α : عامل التمدد (التقلص) الوسطي للمعادن في الطور الجامد

t_s : درجة الحرارة عند خط التجمد t_o: درجة حرارة المحيط وعادة تكون $20C^o$

ومن أهم عيوب هذا المجال:

(الكسور الباردة ـ الكسور الساخنة ـ التشوهات ـ الإجهادات الحرارية المتبقية)

7–4–2–1الإجهادات الحرارية (thermal stresses) في المسبوكات:[87]

– إذا لم يتمكن أحد أجزاء المسبوكة من التمدد أو التقلص بحرية عند تغير درجة الحرارة يتشكل فيها إجهادات نتيجة المقاومات الحاصلة. و هذه المقاومات يمكن أن تكون ميكانيكية (تقلصات) أو حرارية أو مركبة (حرارية وميكانيكية) حيث تحدث المقاومة الميكانيكية بسبب القالب أو النواة، أما المقاومة الحرارية بسبب اختلاف سماكات الجدران المتصلة.

– تسمى الإجهادات المتشكلة في المسبوكات خلال تبريد المسبوكة لحرارة المحيط بالإجهادات الحرارية المتبقية ويمكن تخفيض أو إزالة هذه الإجهادات بمعالجة حرارية خاصة.

[86] يعقوب ص291-293

[87] يعقوب ص295-298

– وإذا توصل إجهاد الشد أو القص في مكان ما من المسبوكة لقيمة أكبر من حد المتانة للمعدن عند تلك الحرارة يحدث كسر في المسبوكة. وإذا حدث الكسر في درجات الحرارة العالية فيسمى بالكسر الساخن (hot tear)، أما إذا حدث في درجات الحرارة المنخفضة فيسمى بالكسر البارد (cold crack)

– يعبر عن الإجهادات الحرارية بالعلاقة العامة:

$$\pm\sigma = \alpha * E * \Delta t \qquad (\text{Eq } 7-2)$$

$\pm\sigma$ (N/mm^2): إجهادات الشد (+) أو الضغط (−)

α (mm/mm*c^o): عامل التمدد أو التقلص الحراري لمعدن المسبوكة

E (N/mm^2): عامل المرونة: وهو قيمة فيزيائية تابعة لنوع المعدن وبتركيبه الكيميائي

Δt (c^o): فرق درجة الحرارة في المسبوكة في المكان المدروس

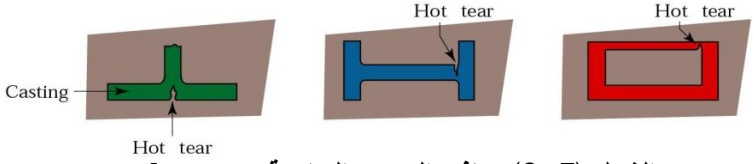
7-2-4-2 الكسور الساخنة (hot tears):

ويعرف الكسر الساخن بأنه شق منحني غير مستقيم سطحي أو داخلي. يحدث في درجات الحرارة العالية ويبدأ تشكلها قبل انتهاء عملية التجمد بقليل أي عندما يبدأ التقلص الخطي للمسبوكة ويستمر انتشارها وتشكلها خلال مرحلة التبريد حتى درجة حرارة معينة تقع تحت درجات خط التجمد (solidus) بحدود C^o(30–50) أي أنها تتشكل في مجال حراري معين [88] كما يبين ذلك الشكل b(7–8).

تحدث الكسور الساخنة نتيجة للإجهادات الحرارية والإجهادات التقلصية

ويبين الشكل a(7–8) كيفية حدوث الكسر الساخن في مسبوكة غير متجانسة حرارياً (مختلفة السماكات) مؤلفة من جسر ذو مقطع عرضي مؤلف من قاعدتين سميكتين متصلتين بقائمة رقيقة حيث تتجمد القائمة الرقيقة قبل القاعدتين السميكتين وبعد التجمد تستمر الجدران الرقيقة بالتقلص بسبب التبريد بينما لا تزال القاعدة السميكة في حالة نصف مائعة أو جامدة. وبسبب ممانعة القالب لتقلص القاعدة السميكة لتتبع التقلص في القائمة الرفيعة (لأنهما يشكلان جسماً واحداً) تتشكل إجهادات إن كانت قيمتها أكبر من مقاومة المعدن في المجال الحراري فيحدث الكسر الساخن.

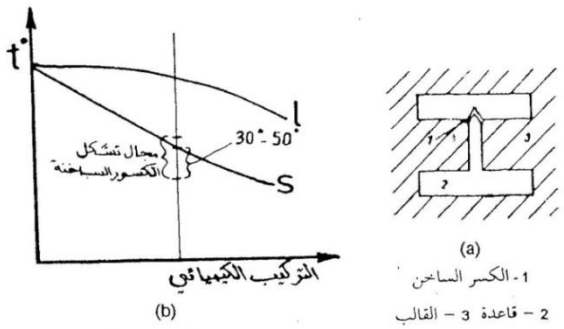
والشكل (7–9) يبين نماذج الكسور الساخنة المحتمل حدوثها في المسبوكات[89]:



الشكل (7–9) نماذج الكسور الساخنة hot tear

[88] يعقوب ص301-306

[89] Colton، p7



الشكل (7–8) مجال تشكل الكسور الساخنة

7–4–2–3 الكسور الباردة (cold crack):

وهي شقوق تحدث في المسبوكات غالباً في درجات الحرارة العادية أو المنخفضة وتستمر لانتهاء تبريد المسبوكة، وتكون على شكل منحن مستمر.

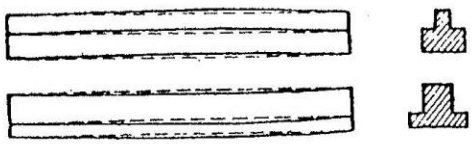
تحدث هذه الكسور نتيجة وصول إجهادات الشد أو القص حداً معيناً يزيد على حد متانة المعدن في درجة حرارة معينة ويحدث الكسر بعد استنفاذ المعدن كل اللدونة

وللتقليل من هذه الكسور يجب تقليل فروق درجات الحرارة بين أجزاء المسبوكة بطرائق مختلفة.

7–4–2–4 تشوه المسبوكات (distortion of casting):

خلال تبريد المسبوكة وضمن مجال زمني محدد تحدث انفعالات لدنة للأجزاء السميكة في المسبوكة كونها أكثر سخونة وأقل متانة من الأجزاء الرقيقة، وهذه الانفعالات لا تحدث عند درجة حرارة واحدة حرجة لأن انتقال المعدن من الحالة اللدنة إلى الحالة المرنة يتم بصورة مستمرة وليس فجائياً.

يمكن تفادي تشوه المسبوكات نتيجة الإجهادات المتبقية الشكل (7–10) إما بتغيير تصميم المسبوكة بحيث يكون لجميع أجزاء المسبوكة السماكة نفسها أو بتوضع الأجزاء السميكة والرقيقة بحيث تكون متناظرة حول محور السبيكة أو بحني النموذج أثناء عملية تشكيل القالب لجهة معاكسة للانحناء الذي سيحصل في المسبوكة بعد تجمدها وتبريدها.[90]



الشكل (7–10) التشوه في المسبوكات

[90] يعقوب ص 314-315

7-4-2-5 تخفيض الإجهادات الحرارية من المسبوكات:

يمكن تخفيض الإجهادات المتبقية في المسبوكات بالطرائق التالية:

1 - **التعتيق الطبيعي (natural ageing)**: ويتم ترك المسبوكة في الطبيعة حيث تتعرض المسبوكات للتغيرات الجوية وتغيرات الحرارة ويتراوح زمن تعتيق المسبوكة من سنة إلى سنتين قبل أن تؤخذ لتجرى عليها عمليات التشغيل. وتستخدم هذه الطريقة للمسبوكات كبيرة الحجم كهياكل الآلات والمكابس وغيرها. وبهذه الطريقة تنخفض قيمة الإجهادات الحرارية المتبقية بنسبة 10% إلى 15% وهي نسبة قليلة.

2 - **التعتيق الصناعي (temper ageing)**: ويتم بإحماء المسبوكات ببطء في الأفران حتى درجة الحرارة C^o(450÷550) للفولاذ وتبقى المسبوكة في هذه الحرارة من 4 ساعات إلى 8 ساعات ثم تترك تبرد ببطء في الفرن بحيث يكون معدل التبريد بطيئاً جداً ويمكن بعدها تسريع عملية التبريد وبهذه الطريقة يمكن تخفيض الإجهادات في المسبوكة بمقدار يصل إلى 80% وحتى 85%. ويجب أن لا تزيد حرارة الإحماء عند التعتيق الاصطناعي على $600C^o$.[91]

7-5 طرائق إجراء عمليات فحص وتفتيش العيوب في مسبوكات الألمنيوم:

7-5-1 ضبط الجودة (quality control):[92]

أصبحت الجودة واحدة من أهم العوامل المحددة لقرار الزبون في اختيار المنتج المنافس وبالتالي أصبحت هي المفتاح المقرر فيما إذا كان العمل ناجحاً أم لا، هل سيتطور أو ينمو أم لا، هل سيستمر أم لا.

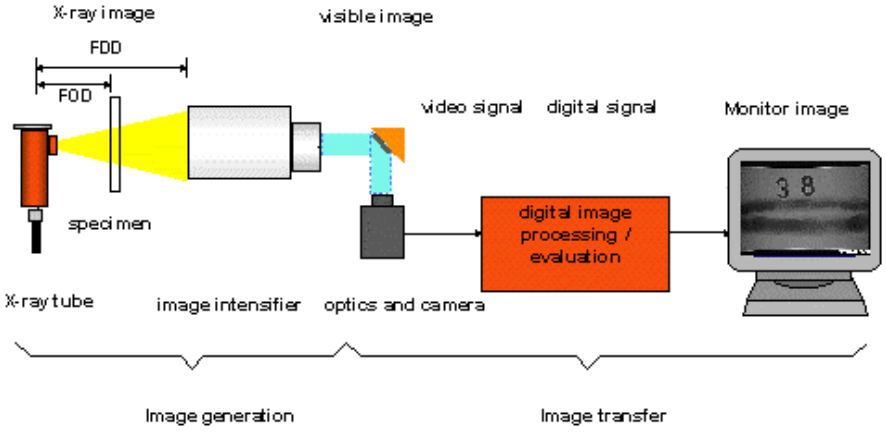
الجودة تقيم عبر عدة طرائق ومن أهم الطرائق التقليدية لتقييمها هي مطابقة أبعاد المنتج للأبعاد الاسمية ومدى الاختلاف بينهما، أما بالنسبة للعجلات المسبوكة فتقيم بطرائق استكشافية (inspection method) من أهمها التفتيش بالطرائق الإشعاعية (RTR) (real time radioscopic) وهي الطريقة الأهم في مجال كشف عيوب العجلات المسبوكة ومدى جودتها والمحددة لقبول المنتج أم رفضه تحت تأثير الحمل المطبق عليه وتغير أبعاده.

7-5-2 x-ray inspection (real time radioscopic): إن طريقة (RTR) في الفحص تطبق على المواد والمنتجات الناتجة بعملية السباكة والمستخدمة في مجال الآليات والطيران حيث يتم

[91] يعقوب ص315-316
[92] ÇETİNEL، p33-34

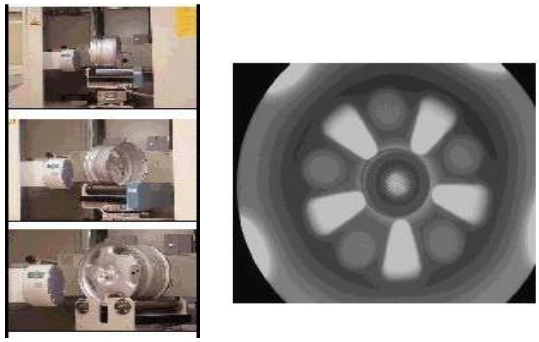
فيها كشف العيب ومدى قياسه وتأثيره حيث طورت هذه الطريقة في السنوات الأخيرة الماضية بشكل واسع حتى شملت العجلات المسبوكة.

شرح العالم (AYGUUN) مبدأ عملية (RTR) بحيث يتم إمرار الأشعة السينية عبر العينة المفحوصة (يجب أن تصل شدة هذه الأشعة لحدود (30mA) و (160Kv)) ومنها إلى مكثف (intensifier) والذي يحول الإشعاع إلى حزم الكترونية والتي تركز بواسطة عدسات وتصبح كضوء مرئي متغير طول الموجة موجه إلى كاميرا ومن بعدها إلى شاشة عرض كما هو مبين بالشكل (7-11):



الشكل (7-11) نظام الفحص الاشعاعي

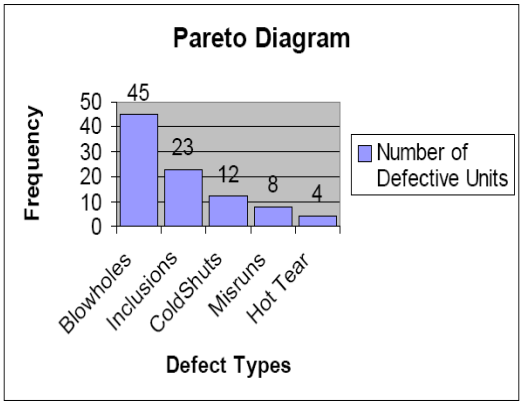
و الشكل (7-12) يوضح مخطط تخطيطي لعملية (RTR) لعجلة مسبوكة من خليطة الألمنيوم، و الصورة الإشعاعية الناتجة[93]:



الشكل (7-12) صورة إشعاعية بأشعة (x) لعجلة مسبوكة من خليطة AL

والشكل (7-13) يبين مخطط (pareto) المبين لنسب العيوب الموجودة مع اختلاف تردد أشعة الفحص[94]:

[93] p34-36،ÇETİNEL
[94] p43،ÇETİNEL



الشكل (7-13) مخطط (PARETO) لنسب العيوب تبعا لتردد أشعة الفحص

وكما نلاحظ من المخطط أنه بزيادة تردد الفحص تظهر جميع العيوب الداخلية بنسبها الأكبر (blow holes) (inclusions)

7-6 العيوب الناتجة في عجلات سبائك الألمنيوم:

وهي عيوب أغلبها في مجال التجمد، ولقد بين العالم AYGUU(37)[95] أن النوعين الرئيسين للعيوب الناتجة في سبائك خلائط AL-Si اعتماداً على الفحص الإشعاعي لهذه السبائك هما:

1 - عيوب الثقوب (hole type defects)

2 - عيوب التصدعات والكسور (crack type defects)

7-6-1عيوب الثقوب (hole type defects):[96]

Blow holes: وهي ثقوب أو فجوات ناعمة جداً تعرف باسم (pinholes) أو (gas holes) يمكن الكشف عنها من مظهرها السطحي الكروي الناعم جداً ويمكن أن تكون تحت السطح مباشرة وسببها:

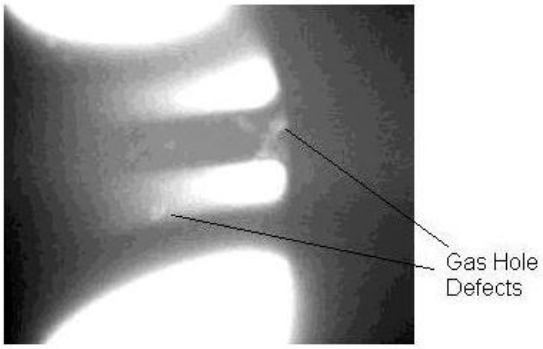
1 - الاضطراب الهوائي الحاصل أثناء عملية صب المعدن في القالب

2 - التفاعلات الحاصلة مابين المعدن المصهور والقالب أو النواة إن وجدت

3 - التفاعلات الكيميائية في المعدن المصهور أثناء عملية التبريد والتجمد في القالب

وهذه العيوب مبينة في الشكل (7-14):

[95] p26،ÇETİNEL
[96] p26-30،ÇETİNEL

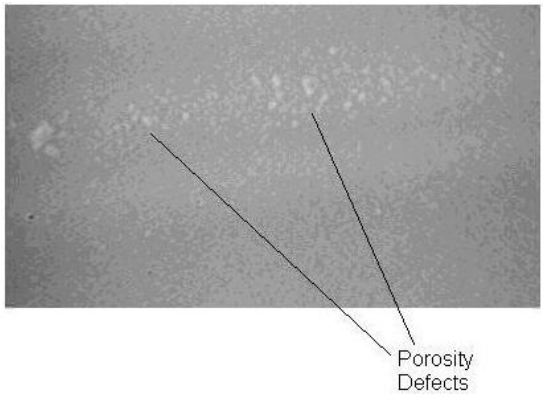


الشكل (7−14) عيوب الثقوب الناتجة في مسابك عجلات الألمنيوم

ويكون الحل بالنسبة للسببين الأول والثاني هو الحرص والعناية أثناء عملية الصب أو توفير فتحات تنفيس كافية للتخلص من الحصر الهوائي، أما بالنسبة للسبب الثالث فالحل هو تزويد المصهور بالإضافات اللازمة للتخلص من التفاعلات الكيماوية قبل انبعاث الغازات منها وهذا يعتمد على عملية التخلص من الغازات (degassing) المجراة قبل عملية السباكة.

Porosity: وهي إحدى أخطر العيوب الناتجة في مسبوكات الألمنيوم والتي تحدث بسبب انحلال الغازات وخاصة الهيدروجين.

والشكل(7−15) يبين مسامة في عجلة مسبوكة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض:



الشكل (7−15) عيوب المسامات الناتجة في مسابك عجلات الألمنيوم

وإن شرط تشكل مسامة الغاز ذات نصف القطر(r) هو أن يكون ضغط الغاز فيها كافي للتغلب على بقية عناصر المعادلة:

$$P_g \geq P_0 + \rho_L gh + P_s + P_\sigma \qquad (Eq\ 7-3)$$

P_g: ضغط الغاز P_0: ضغط الوسط المحيط (عادةً ثابت)

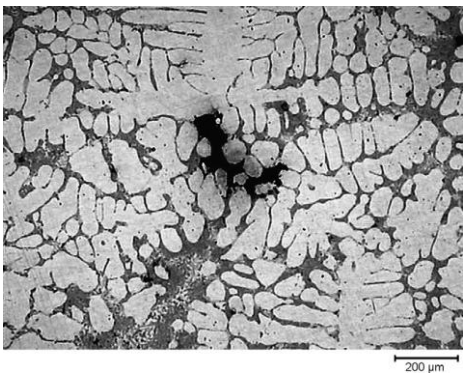
$\rho_L gh$: ضغط عمود المعدن عند انتقاله من البوتقة للقالب (عادةً ثابت)

P_s: ضغط عملية الانكماش (يحسب رياضياً)

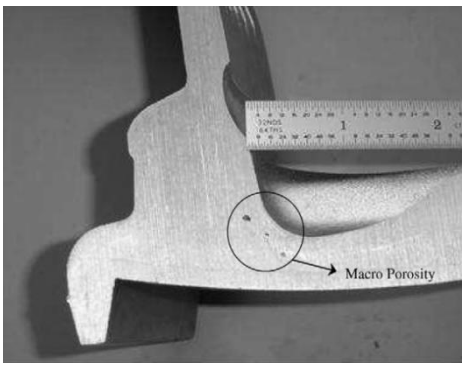
P_σ: التوتر السطحي مابين الغاز والسائل (يحسب رياضياً)

وبزيادة سرعة عملية التجمد ومعدلات التبريد يقل قطر المسامة الغازية وبالتالي يقل نموها

Microporosity: هذا النمط من العيوب يمكن ملاحظته ضمن حدود البلورة بسبب نعومة المسامة ودقتها. ونستطيع منع تشكل مثل هذه العيوب عن طريق تخفيض درجة حرارة المسبوكة أو تغيير تصميمها (تقليل المقاطع السميكة مثلاً) واستخدام المبردات. والشكل (7-16) يوضح بنية ميكروية لهذا العيب في منطقة الاتصال مابين rim and spoke لعجلة مسبوكة بطريقة LPDC من خليطة الألمنيوم، والشكل (7-17) يبين مساكة ماكروية (Macroporosity) في منطقة الاتصال سابقة الذكر:



الشكل (7-16) المسامة الانكماشية الميكروية

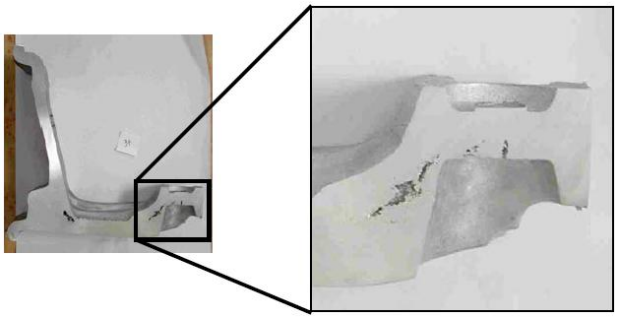


الشكل (7-17) المسامة الانكماشية الماكروية

الأكسدة والخبث والشوائب الدخيلة (inclusions): وهذه العيوب تحدث نتيجة الاضطراب في الطبقة المؤكسدة أو من العناصر الغريبة الدخيلة أثناء عملية الصب، ولا تظهر هذه العيوب عادةً بوضوح إلا بالفحص المجهري.علاوة على ذلك فإن للألمنيوم عدد ذري صغير لذا فبعض المناطق تغنى ببعض عناصر الخلط والعناصر الشائبية الدخيلة وتحدث حينها عيوب **inclusions** أيضاً.

7-6-2 عيوب التصدعات والكسور (crack type defects):

المسامات الانكماشية (shrinkage porosity): تظهر هذه العيوب عندما يتم التحول من الطور السائل إلى الطور الصلب أي أثناء عملية التجمد حيث يكون الطور السائل زائداً في الحجم عن الطور الصلب والشكل(7-18) يوضح مسامة انكماشية في عجلة مصنوعة من خليطة الألمنيوم :

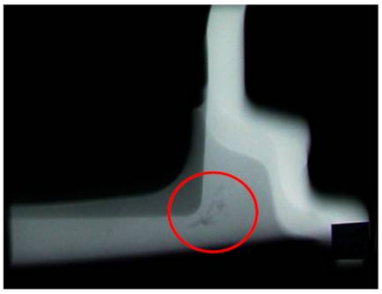


الشكل (7-18) المسامة الانكماشية في عجلة مصنوعة من خليطة الألمنيوم

حيث حوالي 7% من التجارب المجراة على خلائط الألمنيوم المسبوكة تحوي مسامات خلال تحولها من الطور السائل للطور الصلب[97] وذلك بسبب الاختلاف في الحجم مابين هذين الطورين[98]

Micro shrinkage: وتظهر هنا امتداد لعملية الانكماش مابين البلورات حيث يتشكل هذا العيب من اتحاد عدد من الثقوب الانكماشية الدقيقة في آخر منطقة تجمد من المسبوكة، ونستطيع تخفيض هذه العيوب بتخفيض درجة حرارة المسبوكة باستخدام المبردات أو بتعديل التصميم عن طريق تقليل المقاطع ذات الثخانات الكبيرة نسبياً.

نستطيع الكشف عن عيوب الانكماش وقياس أبعادها الناتجة في البنى المسبوكة بواسطة الصور الإشعاعية لأشعة x كما في الشكل (7-19) حيث المناطق ذات الإضاءة العالية دليل وجود الألمنيوم أما التباين في الإضاءة فدليل وجود عيوب أو مسامات



الشكل (7-19) عيب انكماشي في عينة مدروسة بواسطة أشعة X في منطقة الاتصال

التصدعات الانكماشية (contraction crack): وتتشكل هذه التصدعات عندما يسحب المعدن نفسه أثناء عملية التبريد أو بعد إزالة المسبوكة من القالب، وعندما يظهر التصدع أثناء آخر مرحلة من مراحل عملية التجمد فيسمى عندئذ (hot tear) ويكون هذا النوع في المعادن ذات مجال التجمد الكبير حيث أن المناطق المعزولة في الحالة السائلة تصبح موضع الإجهادات الحرارية أثناء عملية التبريد ونتيجة لذلك سيظهر الكسر (fracture)، ولتجنب مثل هذه العيوب يجب أولاً تبسيط القالب والنوى إن وجدت وتعديل التصميم بحيث نتجنب التغيرات المفاجئة في المقاطع

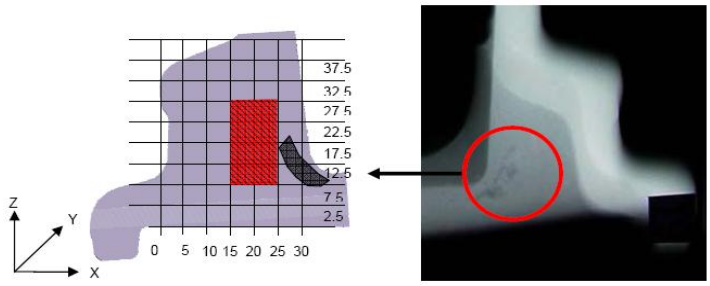
الانعزال أو الانفصال (sgregation): وهي نقاط يوتكتيكية تنفصل عن المصهور داخل البلورة المتشكلة ويحدث مايسمى الانعزال[99]

[97] Lee، p5-
[98] ÇETİNEL، p30
[99] ÇETİNELp32

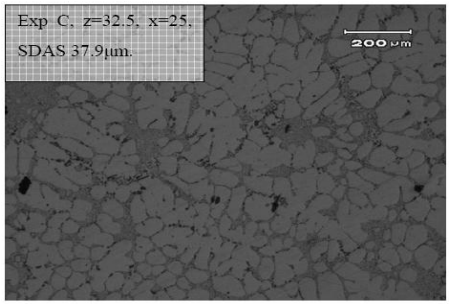
البقع الساخنة (hot spots): إن البقع الساخنة المعزولة تحدث في العجلات المسبوكة من خلائط الألمنيوم بطرائق LPDC في منطقة rim spoke junction ومن خلال تحليل مقياس الأذرع الدندريتية SDAS فيها يتبين مقاييس كبيرة تتجاوز (35µm<) أغلبها يتركز مابين (15÷20)mm على طول المحور (x) و (12.5÷27.5)mm على طول المحور (z) ، وهذا يوافق إلى أن تلك المناطق ذات معدلات تبريد أبطأ من المناطق المحيطة بها.

ومن خلال التحليل المرئي بأشعة (x) تبين أنه لا يوجد تداخل مابين البقع الساخنة والمسامات الناتجة عن عمليةالانكماش حيث إن مواقع تلك المسامات مابين (25÷30)mm على طول المحور (x) كما في الشكل (7–20) ، حيث التهشير ذو اللون الأحمر يدل على مناطق البقع الساخنة والتهشير ذو اللون الأسود يدل على مناطق تشكل المسامات الانكماشية.

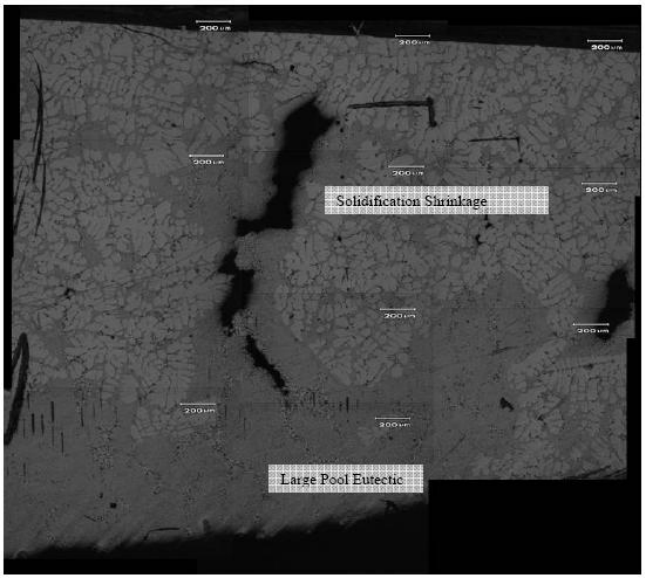
وبإجراء الفحص لعينتين من الموقعين السابقي الذكر يتبين اختلاف البنى مابينهما، حيث العينة الأولى من منطقة التهشير ذات اللون الأحمر الشكل (7–21) والذي يبين وجود أذرع دندريتية كبيرة وكثيرة محتشدة في هذه المنطقة، أما الشكل (7–22) للعينة الثانية (عبارة عن اتحاد اثني عشرة صورة من عينات الموقع (25÷30)mm ذات موقع المسامات الانكماشية ضمن منطقة التهشير الأسود فنلاحظ تزايد مناطق اليوتكتيك محاطة بأذرع دندريتية دقيقة مقارنة بالشكل السابق ذات مقياس (24µm) تقريباً والتي تكون أقرب مايمكن لمناطق التبريد.



الشكل (7–20) مواقع عيوب (hot spot) وعيوب المسامات الانكماشية باستخدام أشعة X



الشكل (7–21) الأذرع الدندريتية الخشنة في مواقع عيوب (HOT SPOT) في منطقة الاتصال



الشكل (7-22) الفجوة الانكماشية المتشكلة أثناء عملية التجمد

حيث يظهر هذا الشكل أنه أثناء عملية التجمد لمنطقة rim spoke junction تنفصل كميات من طور السيلكون بطور يوتكتيكي واضح بسبب التدرج الحراري عبر هذه المنطقة، وبسبب معدلات الحرارة الكامنة الأعلى للسيلكون مقارنة بالألمنيوم فإن منطقة اليوتكتيك الناتجة عن انفصال السيلكون ذات كمية حرارة كبيرة ولذا ستبقى ذات حرارة أكبر من المناطق الأخرى المحيطة بها ذات كميات اليوتكتيك (Si) الأقل. أي أن المسامات الانكماشية تتحد وتحدث في مواقع انفصال السيلكون بطور يوتكتيكي وهذا مايزيد صعوبة تحديد مقياس SDAS.[100]

[100] Lee، p76-79

الفصل الثامن

الدراسة المرجعية

Referential Studies

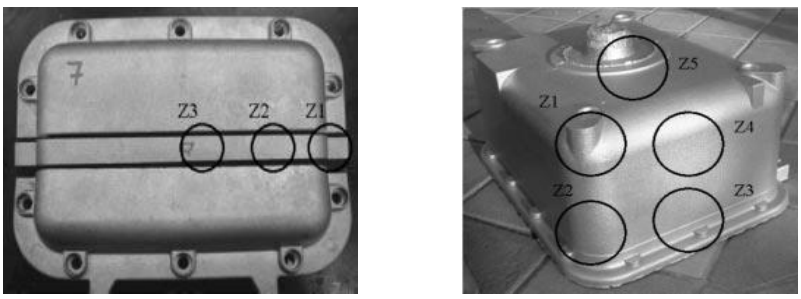
الدراسة المرجعية:

1 - درس كل من (**S.L. Cockcroft، D.M. Maijer،B. Zhang**) مايخص الانتشار الحراري ضمن القالب المبرد أثناء عملية التجمد وأنماط الوصل البيني مابين سطوح انتقال الحرارة وأزمنة مراحل دورة عمل إنتاج عجلة مسبوكة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض.

استنتجو أن منطقة rim تتجمد اولا ومن ثم الجزء السفلي للعجلة والذي سيتجمد أسرع من منطقة الاتصال junction وعندها ستتشكل الفجوة (العيب) في منطقة الاتصال هذه على شكل مسامة.

2 – درس كل من (**Fu Hengzhi، Wang Kuangfei، Liu Xiangyu،Mi Guofa**) تحليل كل من عمليتي ملء القالب بطريقة (LPDC) وآلية التجمد الحاصلة ضمن قالب السباكة وأزمنتهما وأماكن تواجد القنوات التبريدية للقالب لمنع تشكل العيوب المسامية واستنتجوا أنه بوجود القوى التبريدية (أنابيب مائية ضمن القالب الجانبي والعلوي) تقل فترة تجمد المناطق الحدية وبذلك تخفض العيوب الى أكبر قدر ممكن بدون القدرة على تغيير مكان تلك العيوب.

3 – قام كل من (**J. Urban،F. Bonollo**) بإجراء عملية المقارنة بين طرائق السباكة المختلفة من خلال التجارب على مسبوكتين مختلفتين إحداهما أغطية (cover) والأخرى صناديق (box) الشكل (8–1) حيث تمت سباكتهما بأربعة طرائق مختلفة هي السباكة بالضغط المنخفض LPDC (low pressure die casting) والسباكة بالضغط المرتفع HPDC (high pressure die castin) والسباكة التثاقلية GDC (gravity die casting) والسباكة الرملية SC (sand casting) من حيث نسبة العيوب الظاهرة ومن حيث نعومة البنية المجهرية المتشكلة، حيث تمت الدراسة على مناطق (zone) حدية في هذه المسبوكات z_1،z_2،z_3....كما في الشكل التالي



الشكل (8–1) نماذج عينات الدراسة

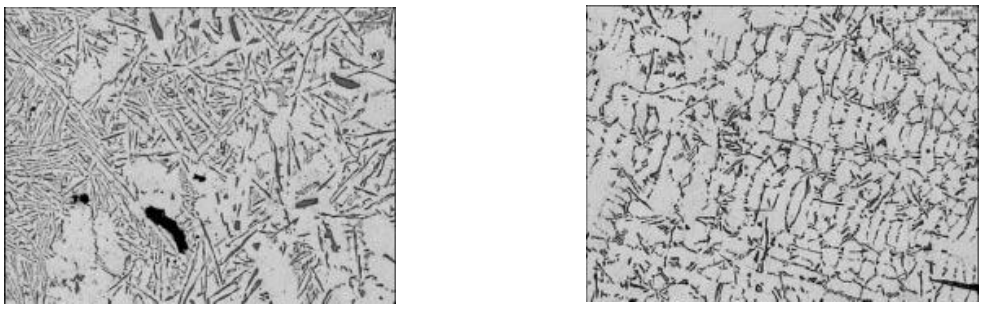
وبالنتيجة:

- تم تنظيم الجدول التالي (8-1) والذي يبين معدل محتوى المسامية (porosity) في الأغطية المسبوكة بالطرائق الأربعة سابقة الذكر:

جدول (8-1) محتوى المسامية في الأغطية المسبوكة

Region	Porosity	LPDC	GDC	SC	HPDC
Z1	Micro	0.004	0.048	0.072	0.557
	Macro		0.76		1.59
	Total	0.004	0.81	0.072	2.15
Z2	Micro	0.005	0.002	0.108	0.232
	Macro		0.30		2.74
	Total	0.005	0.30	0.108	2.98
Z3	Micro	0.055	0.061	0.069	0.534
	Macro	0.50	1.80	1.86	3.24
	Total	0.56	1.86	1.92	3.78

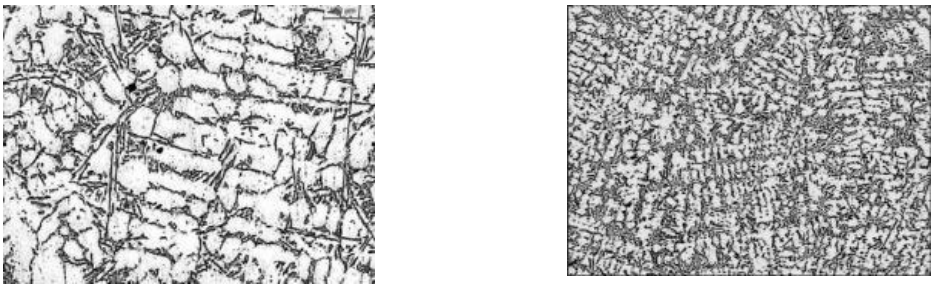
- كما وتمت دراسة مقياس (SDAS) على الصندوق المسبوك حيث قدر هذا المقياس 22µm بالمنطقة البعيدة عن بوابة التغذية والمتمثلة بالمنطقة Z3 وتمثلها الصورة اليمنى من الشكل (8-2). و 33µm بالمنطقة القريبة من بوابة التغذية والمتمثلة بالمنطقة Z5 كما هو موضح بالصورة اليسرى من الشكل (8-2):



الشكل (8-2) البنى المجهرية للمناطق الحدية في الصناديق المسبوكة

والشكل التالي (8-3) يوضح المقارنة بالبنية الميكروية والأذرع الدندريتية المتشكلة الموجودة في المناطق البعيدة عن بوابة التغذية (المتمثلة بمركز الغطاء)(z_1) ذات البنية النقية الممثلة بالشكل الأيمن والتي لها مقياس (SDAS=25µm) بطريقة LPDC، والمنطقة القريبة جداً من بوابة التغذية

والمتمثلة بالرمز (z_3) ذات زمن التجمد الكبير وبالتالي البنية النهائية الخشنة الممثلة بالشكل الأيسر والتي لها مقياس (SDAS=40µm) بطريقة LPDC:



الشكل (8-3) البنى المجهرية للمناطق الحدية في الأغطية المسبوكة

4- درست شركة (ION) المتخصصة بإنتاج قطع المركبات آلية قالب سباكة عجلات المركبات ذات أساس الألمنيوم من حيث اتجاه ومسار التجمد الحاصل في المسبوكة اعتمادا على أنه يجب الوصول لحالة تجمد وحيد الاتجاه (Unidirectional Solidification) (من الأجزاء الأبعد عن بوابة التغذية متبوعة بالأقرب وهكذا وصولاً لبوابة التغذية) وبالتالي فإن الانكماش الحاصل في الجزء المتجمد أولاً يعوضه المصهور الذي لم يتجمد في الجزء الذي يليه، وفي حال عدم تحقق هذا التجمد فإننا نحصل على تجمد غير وحيد الاتجاه (non Unidirectional Solidification) وبالتالي ستتشكل فجوة الانكماش تبعاً لزمن تجمد كل جزء من أجزاء المسبوكة .

لذا وبالنتيجة من دراسة تلك الشركة فإن الاتجاه الصحيح لمسار عملية تجمد العجلة المسبوكة بطريقة السباكة بالضغط المنخفض هو أن تتجمد أولاً منطقة rim ومن ثم منطقة spoke ومن ثم منطقة hub وبالتالي المنطقة الأقل سماكة ستتجمد أولاً وستحتاج زمن تجمد أقل من التي ستليها وهذا مايسمى بالتجمد الموجه (directional solidification) وهذا مايحدد وضعية قالب السباكة والمسبوكة بأن تكون منطقة rim هي الأبعد عن قناة التغذية لأنها تحتاج أقل زمن للتجمد من باقي قطع العجلة المسبوكة.

5- درست شركة (ION) المتخصصة بإنتاج قطع المركبات خليطة AL-SI (A365)،0 (silicon)Si) - المتخصصة في إنتاج عجلات المركبات ووضحت تأثير العناصر المضافة (manganese)Mn - (copper)Cu - (sodium)Na - (beryllium)Be - (iron)Fe - (Cr،V،Ni،r على معدن الألمنيوم إلى الخليطة أثناء صهرها [10] كما ودرس كل من (**Mert ÇETİNEL**) و (**Lozano.J.Voort.G**) و (**J. L. Murray.A. J. McAIister**) [2] هذا التأثر أيضا.

6- درس كل من ("**Rafael jung hoon lee**") "**يعقوب،محمد مازن.**" التأثيرات المتبادلة مابين المعدن المصهور وقالب السباكة مع الأخذ بعين الاعتبار فيزيائية السطوح الميكروية الوسيطة عند

انتقال الحرارة وتشكل القميص البخاري مابين المصهور الساخن وسطح القالب الأقل حرارة وفيزيائية الانتقال الحراري بينهما و نشؤ أنوية التجمد (nucleation) و التي تصبح كنقاط للاتصال مابين الطورين السائل والجامد كما ودرس " **عازار،فؤاد. (2010).**" المقاومات الحرارية الواجب أخذها بعين الاعتبار أثناء الانتقال الحراري آنف الذكر وتم استنتاج المعادلات الرياضية الحاكمة للجريان الحراري.

واستنتجوا أنه يوجد ثلاثة طرائق أساسية لزيادة عملية الانتقال الحراري أثناء السباكة بطريقة الضغط المنخفض LPDC وهي: زيادة مساحة الأسطح الخارجية لفجوة القالب حتى يتم تبديد (تشتيت) كمية أكبرمن الحرارة بالحمل عن طريق وجود أذرع أو زعانف خارجية.....الخ . أو زيادة كتلة القالب (زيادة سماكته) ليمتص قدر أكبر من الحرارة أو استخدام القنوات التبريدية (forced cooling) كمجاري مائية أو هوائية عبر قنوات مدروسة.

ومايزال خيار القنوات التبريدية هو الخيار المتبع وا لمستحسن والأكثر تأثيراً فيما يخص عملية تبريد القالب وتبريد المسبوكة وتجمدها وهذا ماتتبعه شركة (ION).

7 – درس كل من (**"Rafael jung hoon lee" " Flemings "**) نشوء بذور التبلور تحت تأثير القوى التبريدية وعلى مستويات فرط التبريد معينة ، وبناءً على ذلك تختلف بنية الصلب المتجمد. فيمكن أن يكون النمو سطحي مستقر (planner growth) أو أن يكون النمو مسامي خلوي بشكل خلايا (cellular growth) أو أن يكون بشكل تغصنات (دندريتي) (dendrite growth) و استنتجو من خلال الدراسة والتجارب والفحص أن النمو الدندريتي هو النمط الغالب لنمو جميع النوى المتجمدة في خلائط AL–Si .

8 – لقد تمت دراسة مقياس (SDAS) (secondary dendrite arm spacing) من قبل (**"Rafael jung hoon lee"**) بواسطة برنامج حاسوبي (image pro) حيث يقيم هذا المقياس البنى المنتجة بطرائق السباكة وفعاليتها ودقتها، ويعبر عن مقدار التباعد مابين أذرع الدندريت الثانوية المتشعبة، لذا فإن القيم المنخفضة لهذا المعامل تدل على البنى الناعمة الدقيقة النقية ذات التبريد البطيء نسبياً والقيم العليا لهذا المعامل تدل على البنى الخشنة.

9– درس(**"Rafael jung hoon lee"**) تأثير زمن التبريد في الانكماشات الناتجة عن عملية التجمد بواسطة الصور الإشعاعية لأشعة x .

وإن النظرية الأساسية في هذا المجال تقول أن معدلات التبريد القليلة في منطقة الاتصال (rim spoke junction) تزيد ميول تشكل المسامات بسبب وجود البقع الساخنة المعزولة (isolated hot spot).

10– درس (**"Rafael jung hoon lee"**) تأثير زمن التبريد في مقياس (SDAS) وذلك من خلال دراسة تجريبية عملية لعينات من منطقة الاتصال (rim spoke junction) المدروسة سابقة الذكر مع وجود نقطة تبريد (chill) في هذه المنطقة واستنتجو أن:

– العينات ذات زمن التبريد الأكبر أو الأقرب لنقطة التبريد توافق مقياس SDAS أقل وبنية أنعم

– مقياس SDAS له قيم متباينة جداً في مناطق البقع الساخنة.

11– درست شركة (good year tire) بالتعاون مع شركة Rubber Company طرائق تأثير القوى بللعجلات والإجهادات الناشئة في منطقة rim تحت تأثير الأحمال القطرية والذي يستوجب من العجلة حينها أن تحافظ على سلامتها دون أن تتشوه أو تتصدع تحت تأثير تلك الأحمال وتم استنتاج أن منطقتي (Rim flange or lips) (Bead seat) من المناطق الهامة في ارتكاز حافة الإطار الكاوتشوكي على العجلة وبالتالي هما منطقتي تلقي الأحمال والإجهادات الأعظمية.

12 – درس (**Mert ÇETİNEL**) عملية إزالة الغازات (degassing) من مصهور خلائط Al–Si وخاصة غاز الهيدروجين المنحل في المصهور والذي يسبب تشكيل فجوات وثقوب في العجلات المسبوكة.

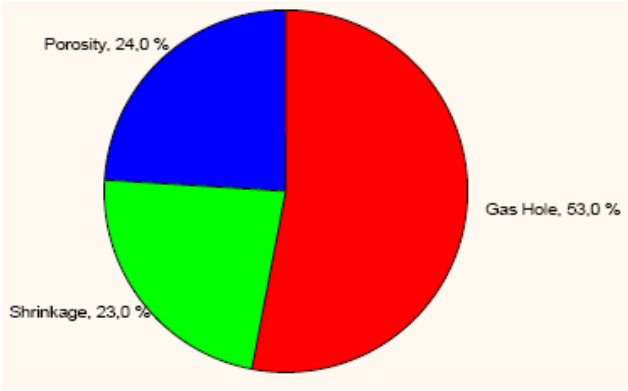
حيث درس الباحث عملية التخلية بغاز الآرغون أو النتروجين والذي يحقن في مصهور خلائط الألمنيوم والسيليكون بآلية معينة ، ومن أفضل الشركات في تصنيع وحدة degassing هي شركة **(Ford green engineering LTD)** واستنتجو من خلال التجارب أنه بزيادة زمن عملية (degassing) يقل محتوى الهيدروجين في المصهور .

13– شرح **(AYGUUN)** مبدأ عملية (RTR) وهي طريقة تفتيش وتقييم بالطرائق الإشعاعية (بواسطة أشعة x) (real time radioscopic) في مجال كشف عيوب العجلات المسبوكة ومدى جودتها . ولقد تبين من خلال الدراسة مدى أهمية هذه العملية في منتجات الآليات وفي حقل الطيران .

14– لقد أجريت دراسة وعملية فحص وتفتيش على 5200 عجلة مصنوعة من خليطة ألمنيوم متخصصة في إنتاج العجلات من قبل الشركات التالية:

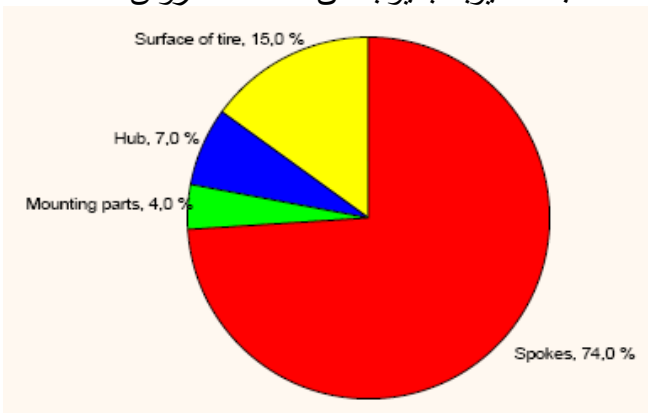
(alu wheel wil bahrin company _ dubai aluminum co.ltd)

مسبوكة بطريقة الضغط المنخفض بواسطة الأشعة السينية ولقد رفض منها حوالي 490 عجلة بسبب ظهور العيوب غير المقبولة فيها أي وصلت نسبة الرفض لحوالي (9.4%) من المنتجات وهذه العيوب تركزت في (gas hole-shrinkage-porosity) والشكل التالي (8–4) يوضح نسب هذه العيوب اعتماداً على الدراسة والفحص على 490 عجلة مرفوضة:



الشكل (8–4) نسب العيوب في 490 عجلة مسبوكة

Gas hole: والسبب الرئيسي لهذا العيب هو انحلال جزيئات الهيدروجين في المصهور، حيث عندما يتعدى الهيدروجين حد الإشباع في المصهور فإنه يتشكل من النسب الزائدة الفقاعات الغازية (gas hole) والشكل التالي (8–5) يوضح نسب توزع هذه العيوب حسب مواقعها في العجلة المسبوكة حيث تمت هذه الإحصائية على 249 عجلة معيوبة بعيوب من النمط المدروس:



الشكل (8–5) نسب توزع عيوب الفقاعات في العجلات المسبوكة

وكما نلاحظ من الشكل أن النسبة الأكبر من العيوب موجودة في منطقة spoke حيث بزيادة سطح هذه المنطقة وبزيادة تعقيد شكلها تزيد نسبة العيوب من هذا النمط فيها وكذلك ولنفس السبب نجد أن السطح الموافق للإطار (surface of tire) ذو نسبة كبيرة من العيوب، مع التنويه إلى أن تجمد أول طبقة معدن ملاصقة لسطح جدار القالب تمنع زوال الغازات وتؤدي لاحتباسها.

Porosity: السبب الرئيسي لهذا العيب هو انحلال جزيئات الهيدروجين أيضا في المصهور وغالباً ماتظهر هذه العيوب في سطح العجلة المسبوكة في أي مكان فيها

Shrinkage: الشكل التالي (8–6) يوضح نسب توزع هذه العيوب حسب مواقعها في العجلة حيث تمت هذه الإحصائية على 115 عجلة معيوبة بعيوب من النمط المدروس وكما نلاحظ أن أكبر نسبة توزع لهذه العيوب في منطقة الاتصال مابين (rim and spoke) وتمتد لمنطقة (hub) بسبب أنها آخر منطقة تتجمد في العجلة وبالتالي قلة تغذية هذه المنطقة بالمعدن أثناء عملية التجمد لذا يجب المحافظة على عملية تدفق وتغذية المصهور للقالب بالشكل الصحيح لتلافي عيوب الانكماش أو تخفيفه كما أن استخدام المبردات في هذه المنطقة له تأثير إيجابي في هذا المجال.

الشكل (8–6) نسب توزع عيوب الانكماش في العجلات المسبوكة

الفصل التاسع

الدراسة العملية

Executive Study

شملت هذه الدراسة النواحي الثلاثة التالية:

1 – دراسة عملية على العجلة المدروسة باستخدام التطبيقات الحاسوبية

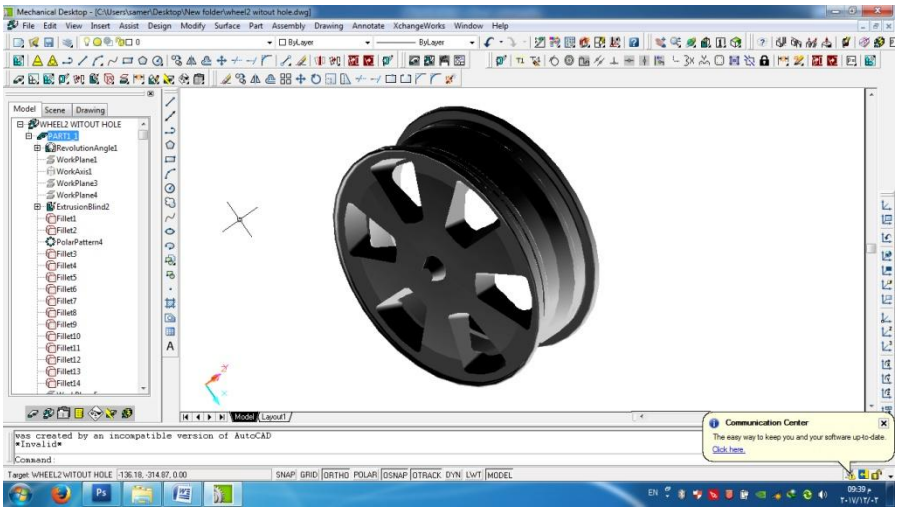
2 – دراسة البنى الميكروية لثلاثة عينات من عجلات مسبوكة مسبقاً بطريقة (LPDC)

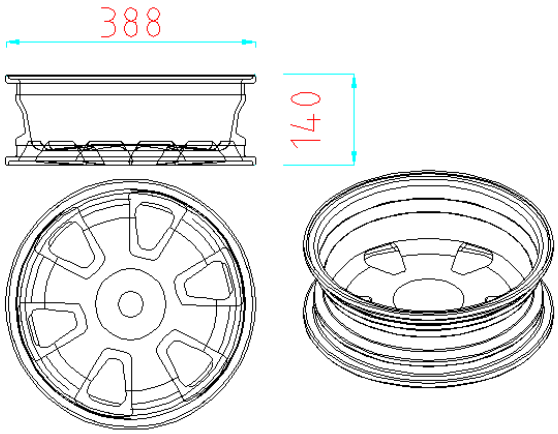
3 – التحليل الكيميائي للعينات المدروسة

9-1 مراحل الدراسة العملية على العجلة المدروسة باستخدام التطبيقات الحاسوبية:

9-1-1 رسم العجلة :

1 – رسم العجلة المدروسة بإحدى برامج cad وهو (Autodesk mechanical desktop) بلاحقة dwg ذات الأبعاد (388mm – 140mm)(الكتلة حسب النتائج 7.52kg) (الحجم حسب النتائج $3009443.52mm^3$) كما هي موضحة بالشكل (9-1):





الشكل (9-1) العجلة المدروسة وأبعادها بالميليمتر

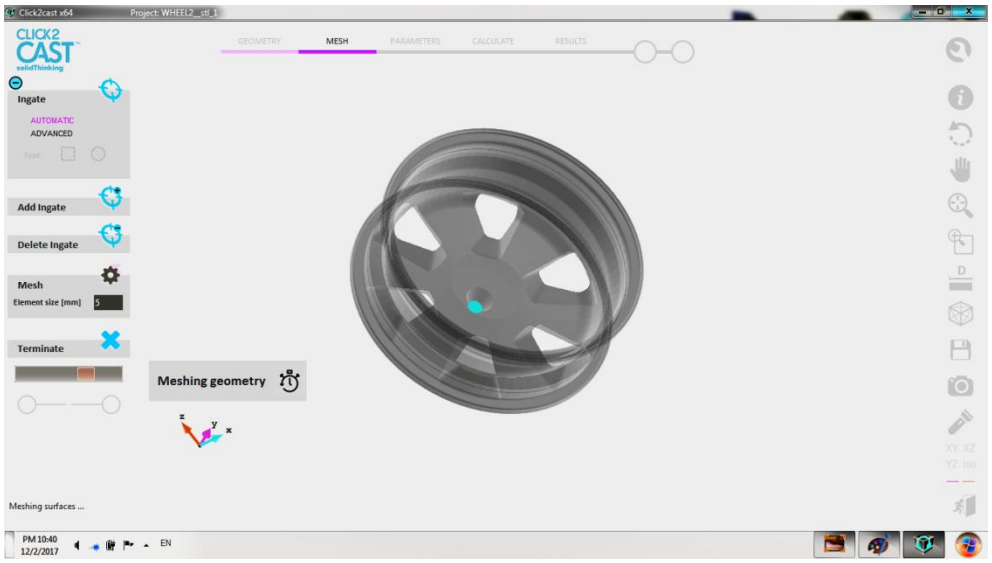
2 – تحويل لاحقة الرسمة إلى step ضمن برنامج (Autodesk mechanical desktop)

3 – تحويل لاحقة الرسمة من step إلى stl بمساعدة برنامج (SolidWorks)

4 – إدخال الرسمة المنجزة بلاحقة stl ودراستها ضمن برنامج خاص بمحاكاة عمليات السباكة (Click2Cast)

2-1-9 دراسة العجلة المرسومة ضمن برنامج (Click2Cast):

1 – بداية يتم فتح الرسمة ضمن البرنامج ويجرى عليها عملية تجزئة (mesh) ويتم اختيار قياس عملية التجزئة لعنصر واحد حسب أبعاد الرسمة ومايراه الدارس مناسبا وبما يتناسب مع حجم الرسمة وزمن العملية وفي دراستنا للعجلة تم اختيار مقياس 6mm كما في الشكل (9–2)



الشكل (9–2) عملية التجزئة (mesh) على العجلة المرسومة

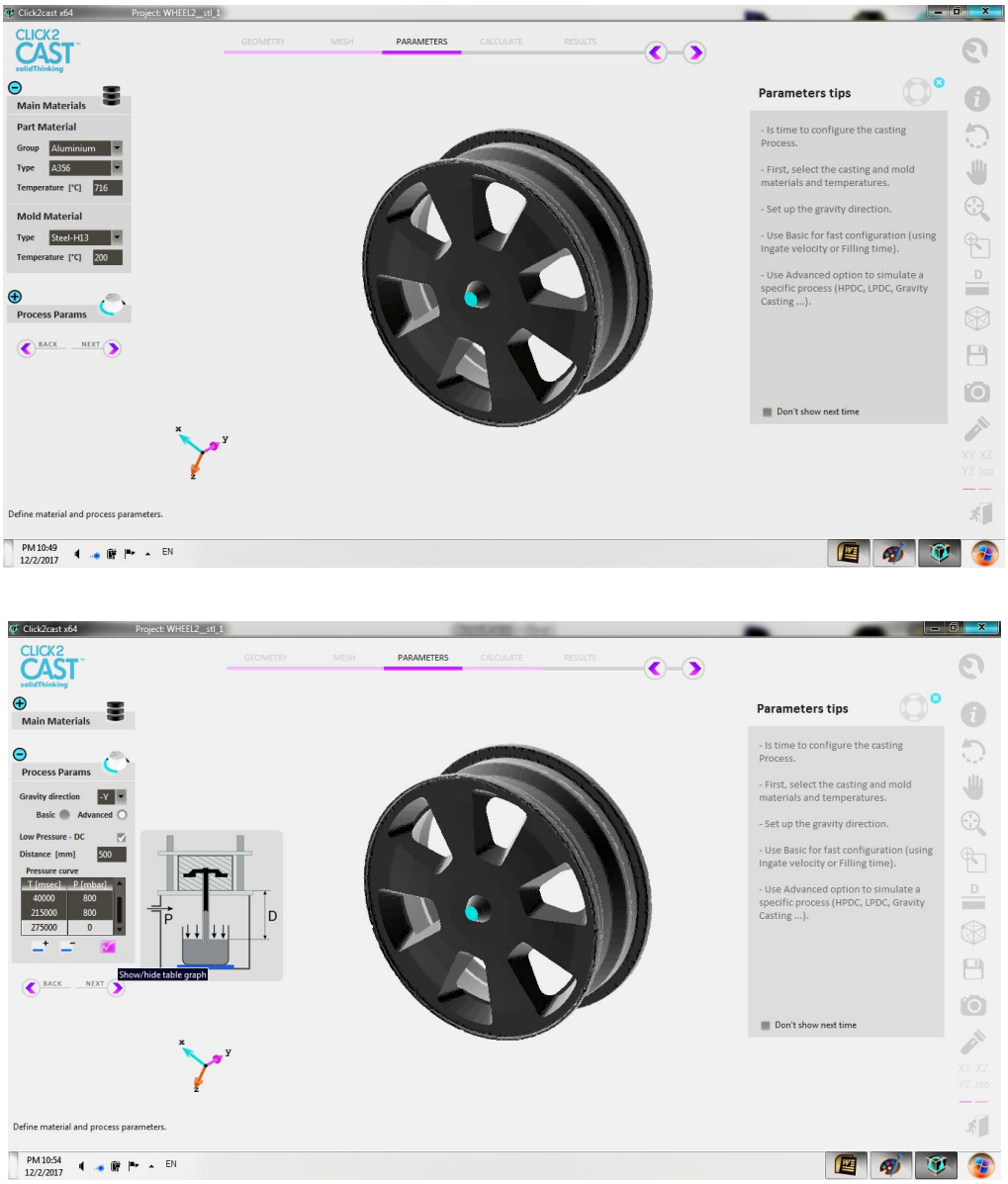
2 – إدخال البارامترات الأساسية لعملية السباكة المختارة (parameters) ونقطة بوابة دخول المعدن المصور لفجوة القالب والممثلة باللون الأزرق الفاتح الشكل (9–3):

Part materials

- Group:Aluminium
- Type:356
- Temperature:720 c^o

Mold materials

- Group:steel H13
- Temperature:250 c^o



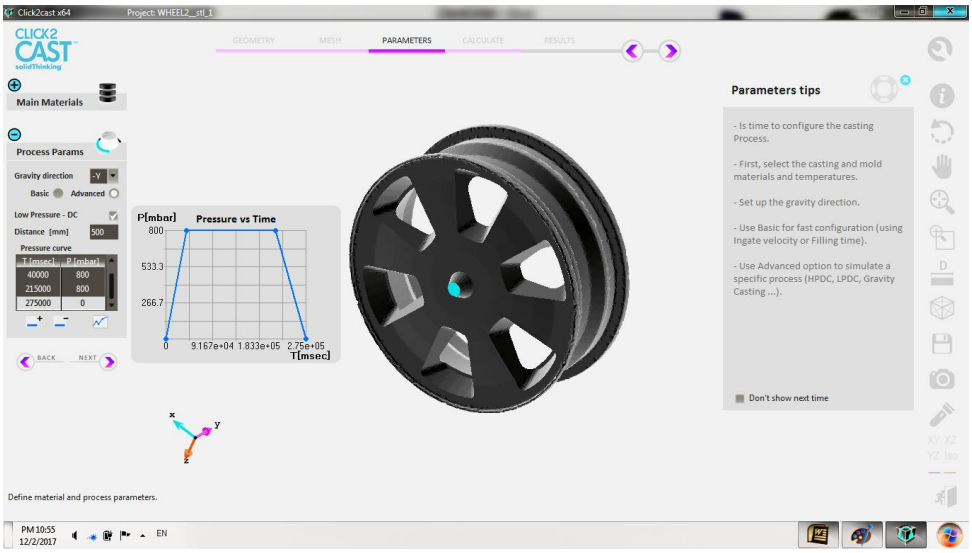
الشكل (9-3) إدخال بارامترات الدراسة

Process parameters

يتم اختيار الطرائق المتقدمة في السباكة الحديثة (advanced) (low pressure dc)

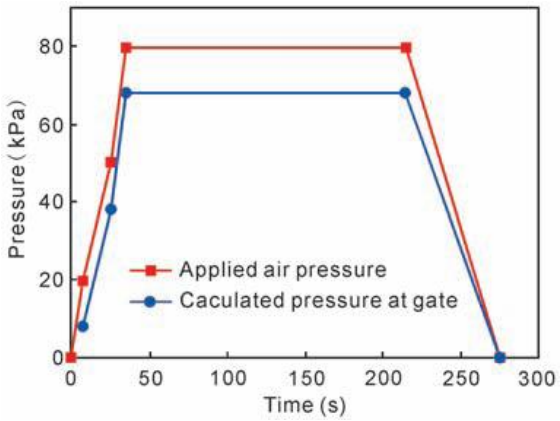
Distance:500mm

- ومن ثم يتم اختيار النقاط الأساسية من منحني ملء المصهور وفق الضغط المطبق والزمن كما في الشكل (9-4) والمخطط (9-5) :



الشكل (9–4) إدخال بارامترات عملية الملء

Time(m sec)	P(m bar)
0	0
40000	800
215000	800
275000	0

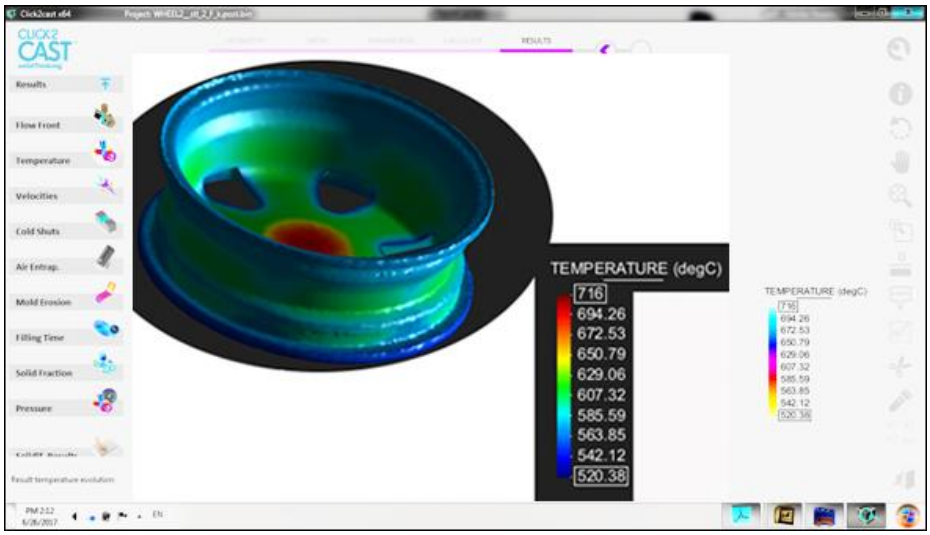


الشكل (9–5) منحني عملية الملء (الضغط – الزمن)

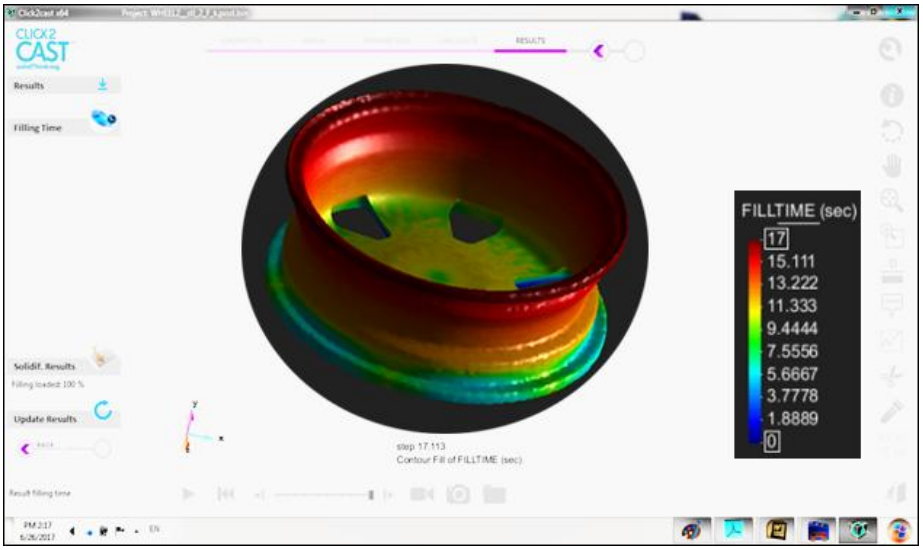
3 – الخطوة اللاحقة هي خطوة الحسابات (calculate) لعمليتي الملء (filling) والتجمد (solidification) من خلال إجراء عملية run local simulation

4 – مرحلة النتائج (result) :

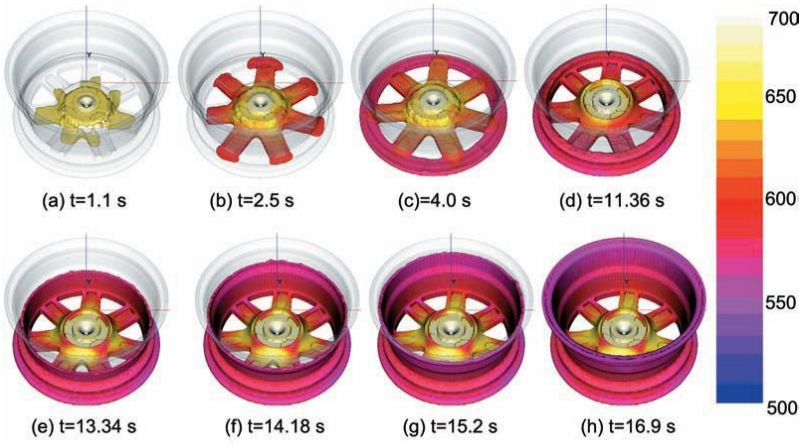
تعرض الأشكال التالية نتائج الدراسة



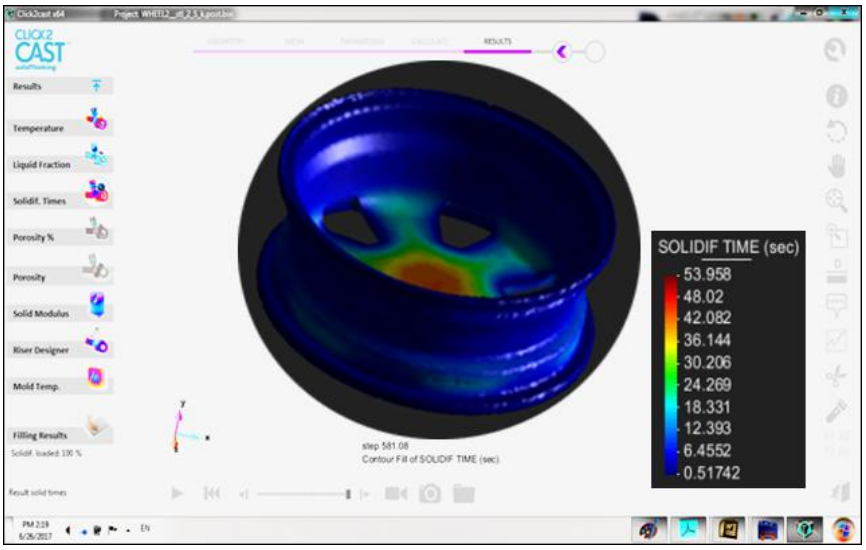
الشكل (9–6) توزع درجات حرارة المصهور ضمن العجلة خلال مرحلة الملء



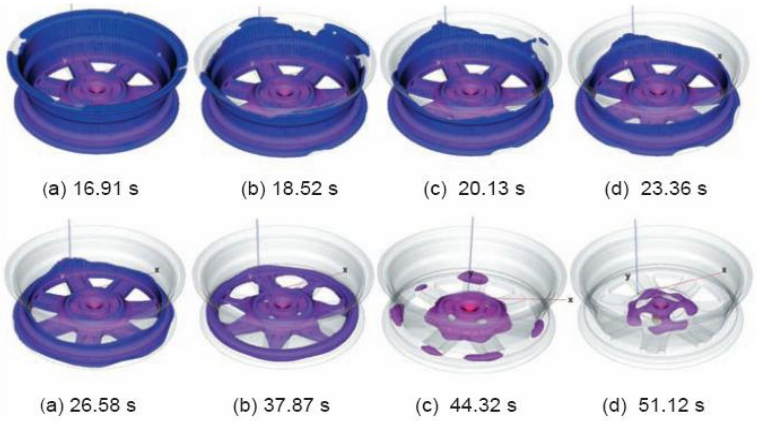
الشكل (9–7) أزمنة عملية ملء العجلة بالمصهور



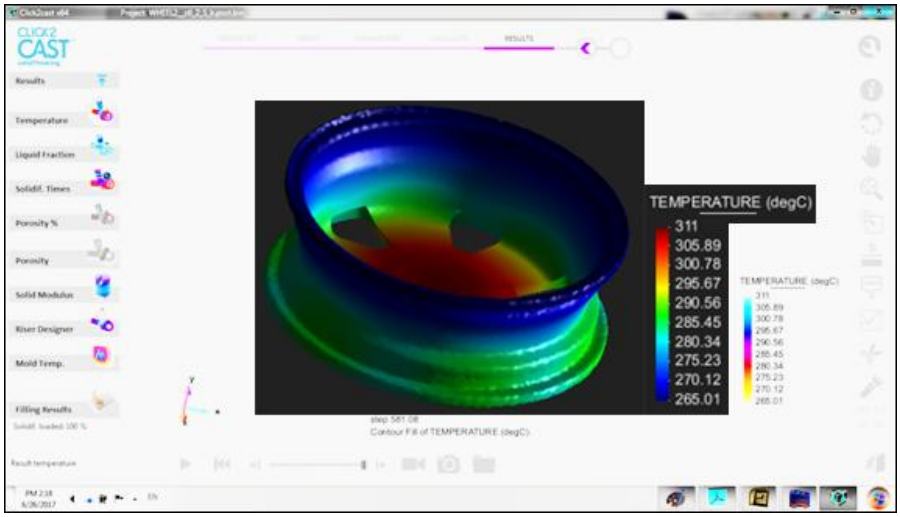
الشكل (9–8) مراحل عملية ملء القالب مع أزمنتها



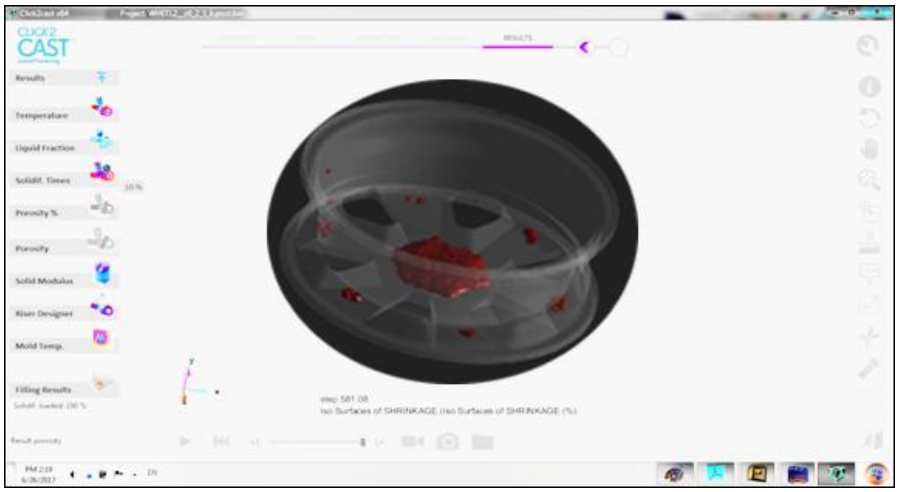
الشكل (9–9) أزمنة عملية تجمد المسبوكة



الشكل (9–10) أزمنة عملية تجمد أجزاء العجلة المسبوكة



الشكل (9–11) توزع درجات الحرارة ضمن العجلة المتجمدة



الشكل (9-12) مناطق حدوث الانكماشات المحتملة

المناقشة والنتائج:

- إن محاكاة عمليتي الملء والتجمد أمر في غاية الأهمية. لأن مرحلة الملء يجب ضبطها بشكل جيد بحيث تكون مستقرة وهادئة للحصول على مسبوكة خالية من العيوب الناتجة عن عمليات الاضطراب أثناء الملء. ومرحلة التجمد تكمن أهميتها من خلال العيوب الناتجة في المسبوكة ككل كما شرح ذلك في القسم النظري.

مع التذكير بأن درجة حرارة المصهور تصل إلى $725c^{o}$ ودرجة حرارة القالب تصل إلى $250c^{o}$

- تتم عملية الملء وفق المراحل والأزمنة التالية والموضحة بالأشكال (9-6)، (9-7)، (9-8):

خلال 1.1s يسري المتدفق المصهور ضمن مجرى الصب وصولاً لفجوة القالب وبعدها يبدأ بملء منطقة hub

خلال 2.5s يصل المتدفق لمنطقة الاتصال junction ويملأ أسفل منطقة rim خلال 4s وفي هذه الأثناء تكون درجة الحرارة بحدود $600c^{o}$

خلال 13s يصل المتدفق لمنتصف منطقة rim وتكون درجة الحرارة بحدود $590c^{o}$

خلال 17s يصل المتدفق لأعلى منطقة rim وتكون درجة الحرارة بحدود $520c^{o}$

وهكذا تكون عملية الملء قد استهلكت مايقارب 17s

- عندما تمتلئ الفجوة بشكل كامل تصل درجة الحرارة لحوالي $580c^{o}$ في المنطقة العليا من منطقة rim وعندها يبدأ المصهور بالانتقال لحالة شبه صلبة وتبدأ عملية التجمد.

- تتم عملية التجمد وفق المراحل والأزمنة التالية والموضحة بالأشكال (9-9)،(9-10)،(9-11):

خلال 21s تتجمد منطقة rim كاملة

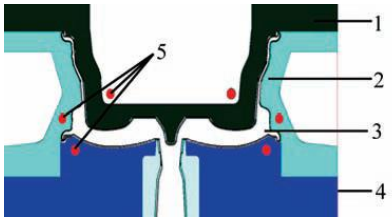
خلال مرحلة التجمد وكما هو واضح من الصورتين (c،b) في الشكل (9–10) والمعبرتين عن بداية وانتهاء تجمد منطقة spoke أنها تتجمد خلال وقت قصيرو بحدود (6 sec) أي تتجمد بأسرع من منطقة الاتصال (rim spoke junction) والتي تستهلك (14 sec) كما هو موضح في الصورتين (d،b) من الشكل (9–10)، لذا تظهر في منطقة الاتصال سابقة الذكر عيوب انكماشية (فجوات انكماشية) وبقع سائلة معزولة كما هو مبين في الشكل (9–12). وبذلك تكون قد استهلك 14s لتجمد منطقتي spoke و rim spoke junction

وهكذا تكون عملية التجمد قد استهلكت مايقارب 35s

- بعد انتهاء عملية التجمد تكون درجة الحرارة في أعلى منطقة rim بحوالي $265c^{o}$ وفي منطقة hub بحوالي $311c^{o}$ كما يبين ذلك الشكل (9–11)
- تظهر باقي عيوب المسبوكة في منطقة hub على اعتبارها المحور الحراري للعجلة المسبوكة والتي تتجمد أخر جزء في المسبوكة كما هو مبين في الشكل (9–12).

حل المشكلة:

من أجل تخفيف تشكل المسامات الانكماشية والبقع الساخنة المعزولة يجب تبسيط القالب والنوى إن وجدت وتجنب التغيرات المفاجئة في المقاطع واستخدام القنوات التبريدية في القالب والتي هي عبارة عن أنابيب مائية غالباً ماتكون نحاسية بدرجة حرارة ($20C^{0}$) ذات قطر لايتجاوز (20mm) في القالب كما في الشكل (9–13)

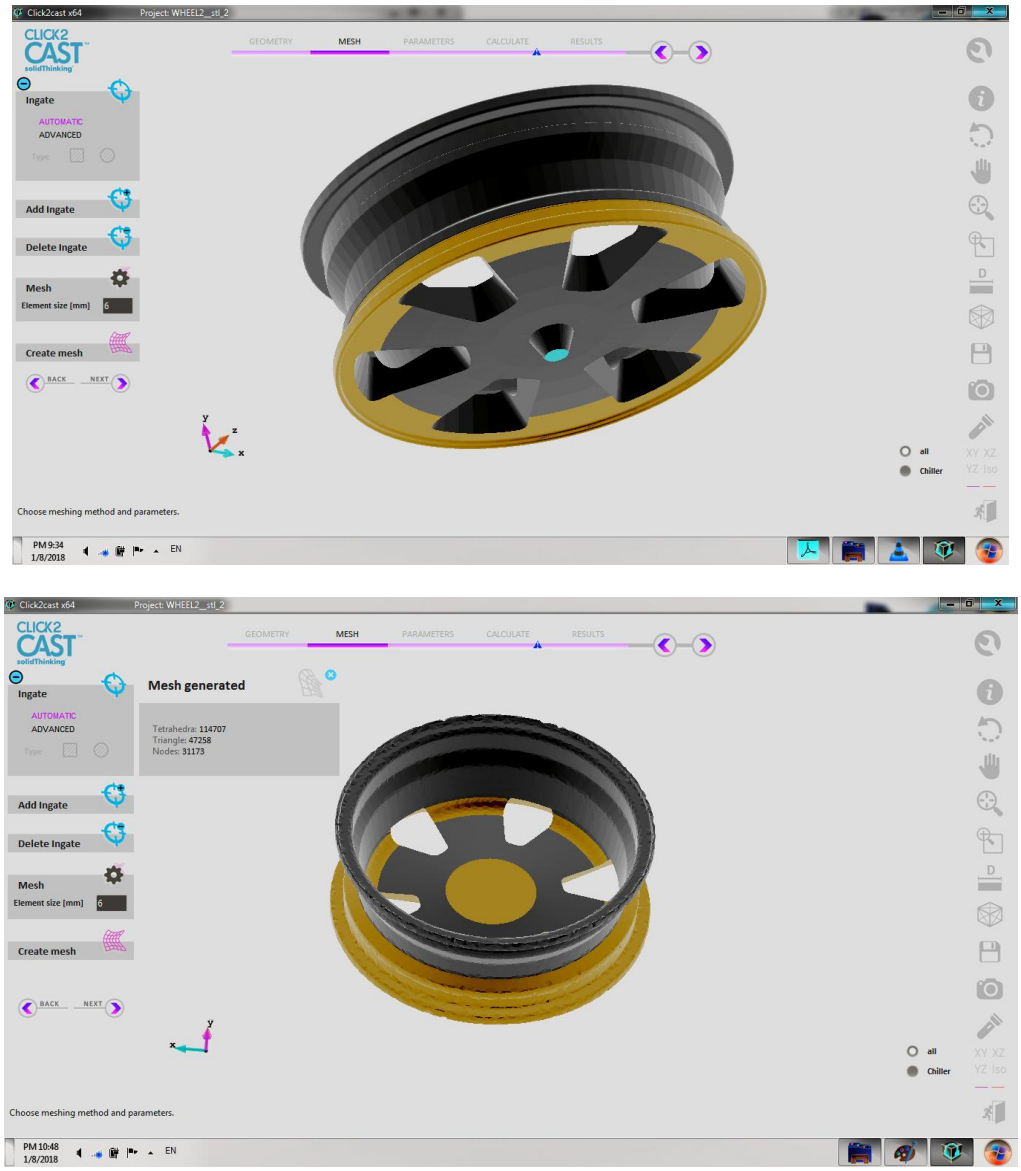


الشكل (9–13) مخطط توضع أنابيب مياه التبريد في قالب سباكة العجلات

1-Top mold 2-Side mold 3-Casting 4-Lower mold 5-Water pipes

3-1-9 دراسة العجلة المرسومة ضمن برنامج (Click2Cast) باستخدام قنوات تبريدية (chiller):

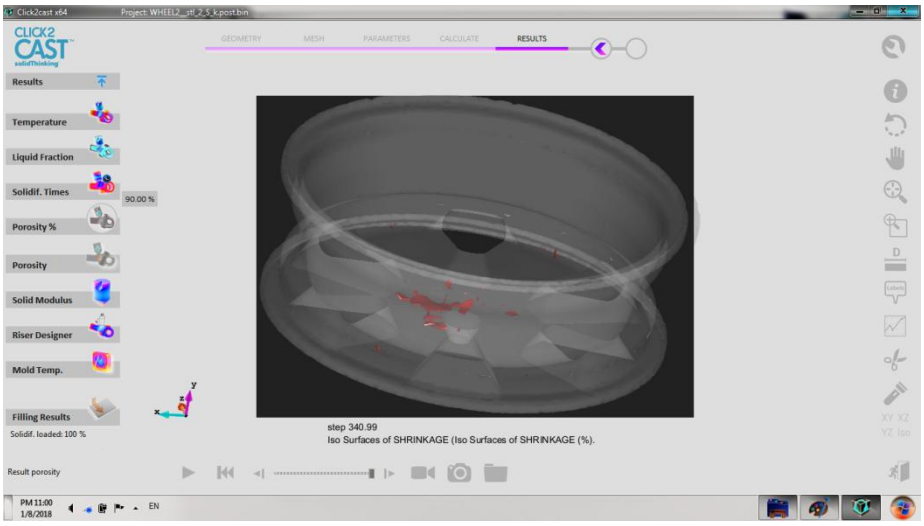
تم إعادة الدراسة الحاسوبية السابقة باستخدام قنوات تبريد والممثلة باللون الأصفر في القالب كما في الشكل (9-14) التالي:



الشكل (9-14) مناطق وجود القوى التبريدية

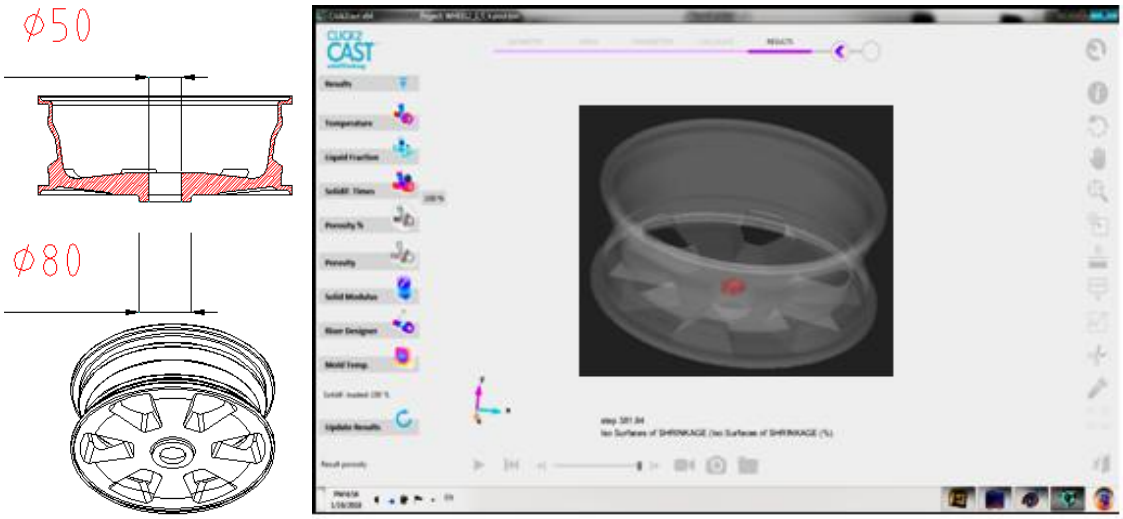
النتيجة النهائية:

1 – وكما نلاحظ من خلال الشكل (9–15) أن عيوب الانكماش والممثلة باللون الأحمر قد اختفت في منطقة الاتصال rsj مقارنة بالشكل (9–12) نتيجة وضع قوى التبريدية في القالب ضمن هذه المنطقة وهذا مايؤكد الحصول على عملية تجمد موجه (directional solidification) للمسبوكة ضمن القالب نتيجة وجود هذه القوى:



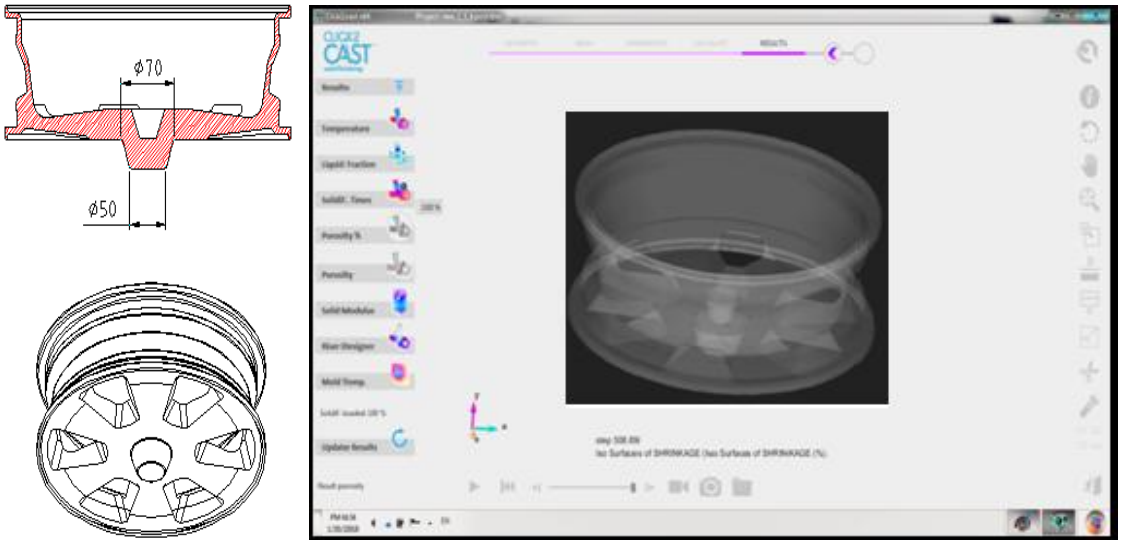
الشكل (9–15) مناطق حدوث الانكماشات المحتملة باستخدام قنوات تبردية

2 – الشكل (9–16) يعبر عن الانكماشات المحتمل تشكلها في منطقة hub بعد تعديل قناة التغذية، وكما نلاحظ أن حجم تلك الانكماشات تقلص ليشغل دائرة قطرها أقل من 4cm مقارنة بالشكل (9–15) و إن هذه المنطقة سوف تزال فيما بعد هي والعيوب الناشئة فيها على آلات التشغيل لتأخذ المسبوكة شكلها النهائي. وبذلك نكون قد تخلصنا من عيوب منطقة hub نهائياً:



الشكل (9–16) تقليص حجم الانكماشات المحتملة بتعديل قناة التغذية

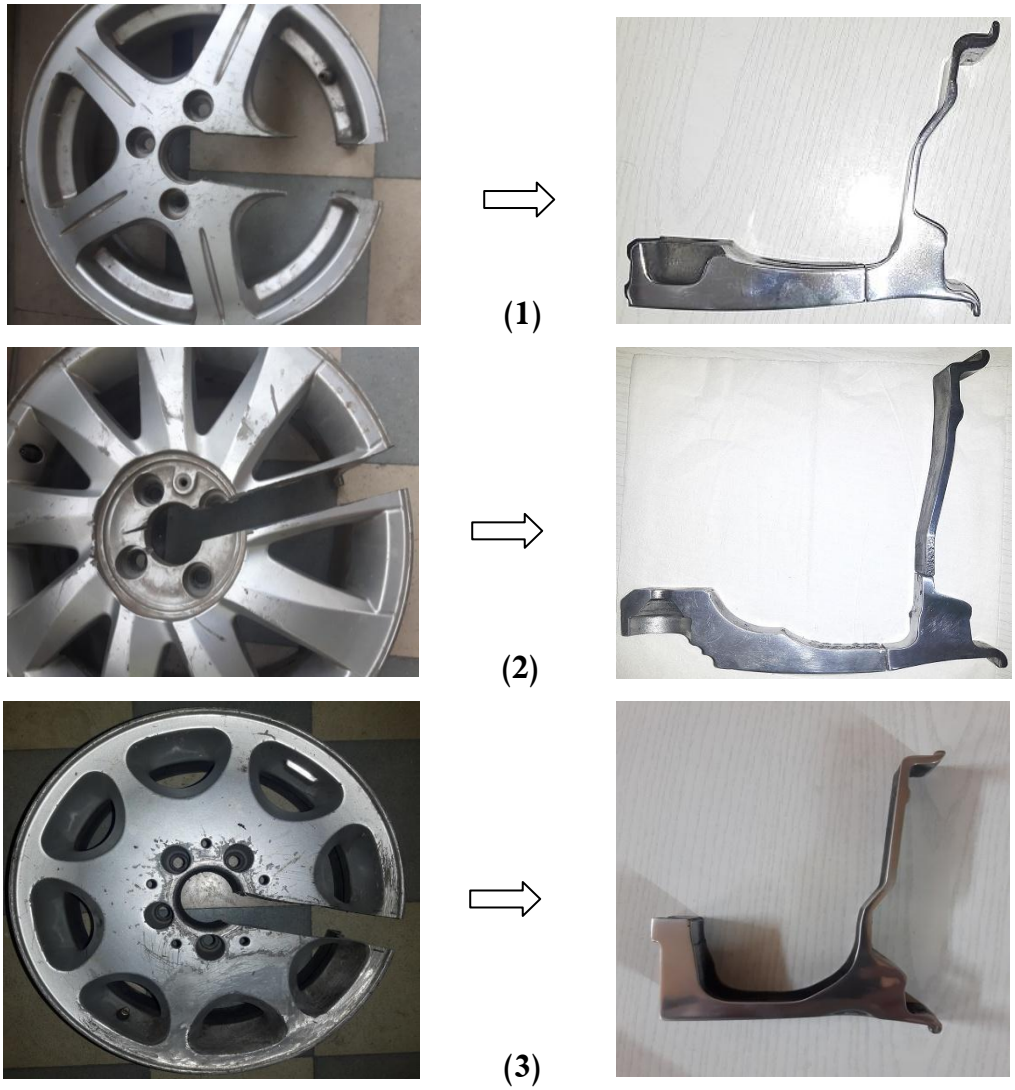
3 – نلاحظ في الشكل (9–17) اختفاء عيوب الانكماشات في منطقة hub بعد تعديل تصميم منطقة hub وتوسيع قناة التغذية مقارنة بالأشكال (9–16) و (9–15) :



الشكل (9–17) اختفاء الانكماشات بتوسيع قناة التغذية وتعديل منطقة hub

9-2 دراسة البنى الميكروية لثلاثة عينات من عجلات مسبوكة مسبقاً بطريقة (LPDC):

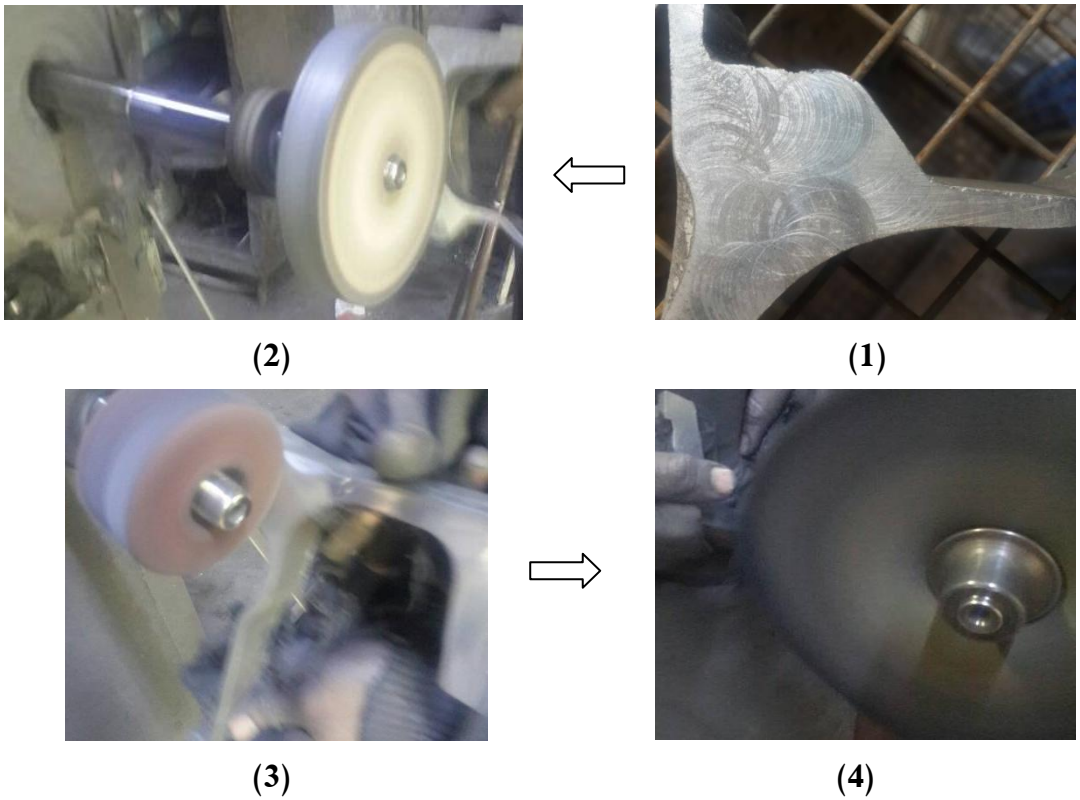
تم تحضير ثلاثة عينات من ثلاثة عجلات مسبوكة مسبقاً من خليطة الألمنيوم (A356.0) مختلفة بنوع مصنع العجلة، العينة رقم (1) صناعة صينية والعينة رقم (2) صناعة تركية بامتياز فرنسي والعينة رقم (3) صناعة ألمانية كما في الشكل (9-18) التالي:



الشكل (9-18) عينات الدراسة العملية

تحضير العينات : تمت عملية التحضير بقص العينات من العجلات ومن ثم تفريزها لنصل إلى استوائية السطح المطلوبة ومن ثم تجليخها و تهذيبها و من ثم صقلها على مرحلتين (بداية صقل بحجر اللباد الناعم ذو العيار 300 ومن ثم بحجر ساتان عيار 600) وتلميعها على مرحلتين أيضاً

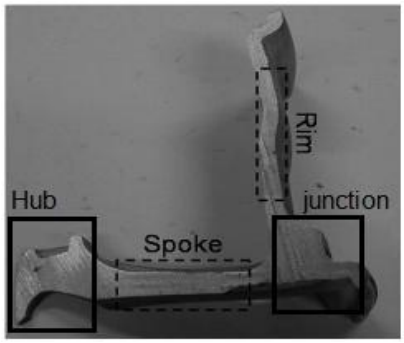
(فرشاة ناعمة لإزالة الجروح ومن ثم فرشاة تلميع) لتصبح جاهزة للفحص تحت المجهر كما يوضح تلك المراحل الشكل التالي (9-19) :



(1) **(2)** **(3)** **(4)**

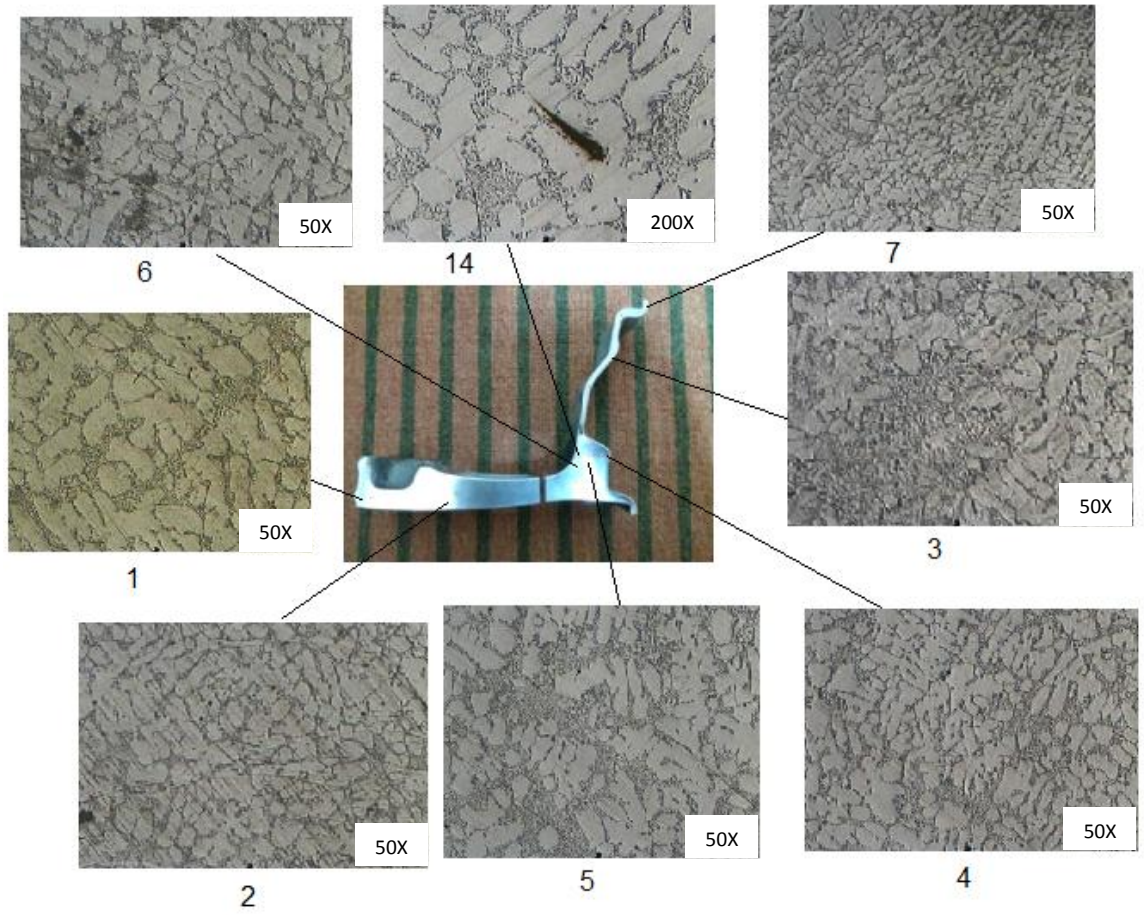
الشكل (9-19) مراحل تحضير العينات

والشكل (9-20) يوضح المناطق الحدية المفحوصة لمقطع العينة المدروسة :



الشكل (9-20) المناطق الحدية في العينات المدروسة

العينة الأولى:



الشكل (9-21) البنى الميكروية لمناطق العينة الأولى

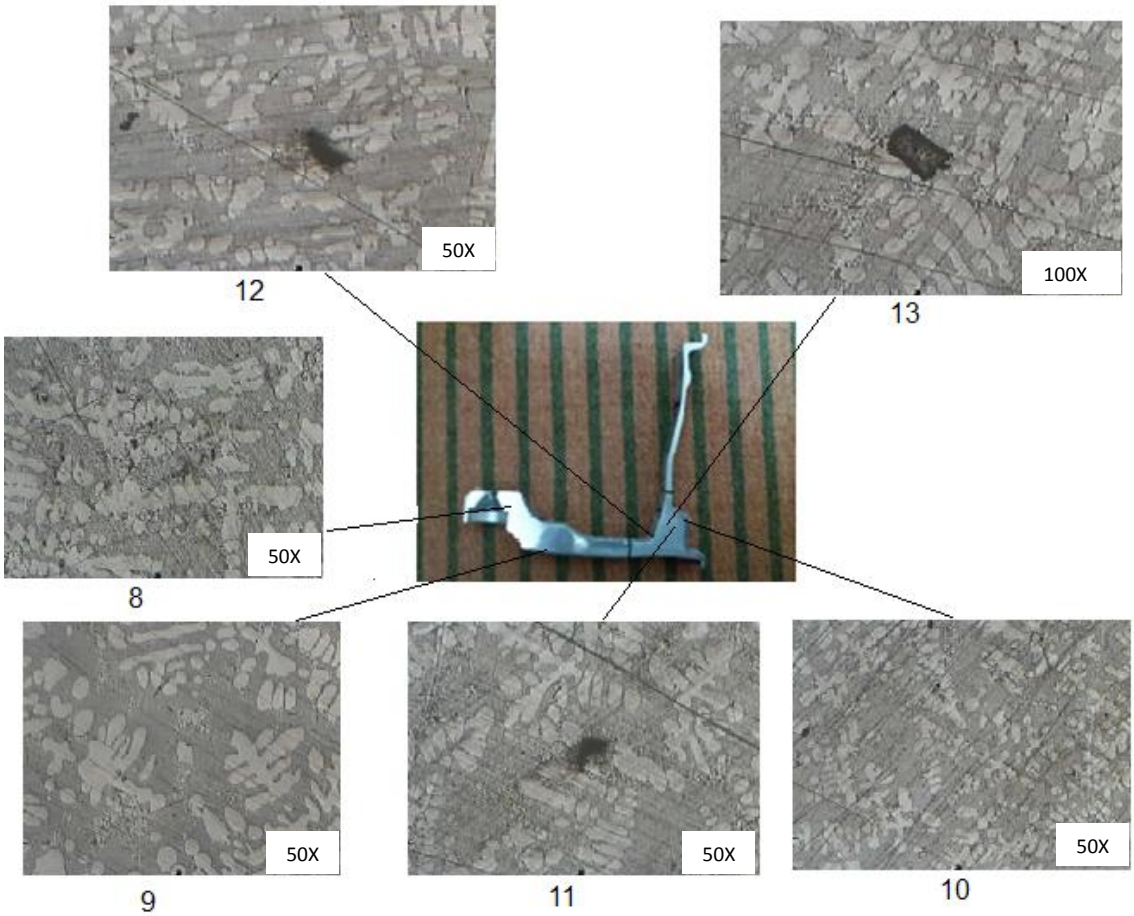
وكما هو موضح بالشكل السابق (9-21) والصور المكبرة بنسبة (50 مرة) بلورات الألمنيوم البيضاء اللون واليوتكتيك المحيط ذو اللون الغامق نستنتج:

- بشكل عام يتضح أن بنية أعلى جزء من منطقة rim flange (المبينة بالصورة 7) هي أنعم البنى الميكروية في العجلة المسبوكة بطريقة (LPDC) ومن ثم تليها المنطقة الوسطى من rim (المبينة بالصورة 3) ومن ثم تليها منطقة junction (المبينة بالصور 14-6-5-4) ومن ثم تليها منطقة spoke (المبينة بالصورة2) ومن ثم تليها منطقة hub (المبينة بالصورة 1) ويعلل ذلك بأن منطقة rim هي أولى المناطق المتجمدة وبمعدلات تبريد جيدة وتدرج حقل حراري جيد وبدون مبردات ومن ثم تليها بقية المناطق ،علاوة على ذلك إن هذه المنطقة رقيقة وبدون سماكة وأبعد المناطق عن بوابة التغذية.

والنعومة هنا تتجلى بأذرع دندريتية ناعمة ومنتظمة وذات أعداد كبيرة كما توضحه الصور.

- الصورة 4 ذات أذرع دندريتية ناعمة ومنتظمة وبدون عيوب جلية أكثر من الصور 14-6-5 وجميعهم من منطقة junction ويعلل ذلك أن هذه المنطقة قريبة جداً من المبرد الخارجي المتواجد في القالب الجانبي وبالتالي ستتعرض لمعدلات تبريد أكبر من باقي المنطقة وبالتالي ستتجمد أولاً، وسيعوض النقص الناتج عن عملية الانكماش فيها طالما باقي المناطق المجاورة لها بحالة سائلة ولم تصل لمرحلة التجمد بعد.
- نلاحظ في الصورة 14 من منطقة junction وبالتكبير (200 مرة) وجود عيوب عناصر شائبية دخيلة في المصهور (inclusions) تتجلى باللون الأسود الداكن. وهي عيوب ناتجة عن تزايد نسبة عنصر Fe كما يبينه جدول التحليل الكيميائي (9-1).
- نلاحظ في الصورة 6 وجود عيوب انكماشية ولربما مسامات انكماشية، لأن منطقة الصورتين 14 و 6 هي منطقة المسامات الانكماشية وهي آخر مناطق تتجمد في المسبوكة (كما شرح في الدراسة العملية السابقة) بسبب إحداثياتها الهندسية وسماكتها الأكبر مقارنة بباقي المناطق.
- نلاحظ في الصور 14-6-4-5-2-1 وجود نقاط سوداء ضمن بلورات الألمنيوم البيضاء المتشكلة حيث تعبر هذه النقاط عن عيوب عملية السكرجة أو تسمى الانعزال أو الانفصال الحاصلة ضمن البلورة (sgregation) ونستطيع القول أنها نقاط يوتكتيكية تنفصل عن المصهور داخل البلورة المتشكلة.
- نلاحظ من الصورتين 1 و 2 الدندريت المتشكل ذو البنية الخشنة ويعلل ذلك أن هاتين المنطقتين hub و spoke تتجمدان أخيراً وبمعدلات تبريد قليلة لقربهما من منطقة بوابة تزويد المصهور. وذات سماكة كبيرة نسبياً.

العينة الثانية:



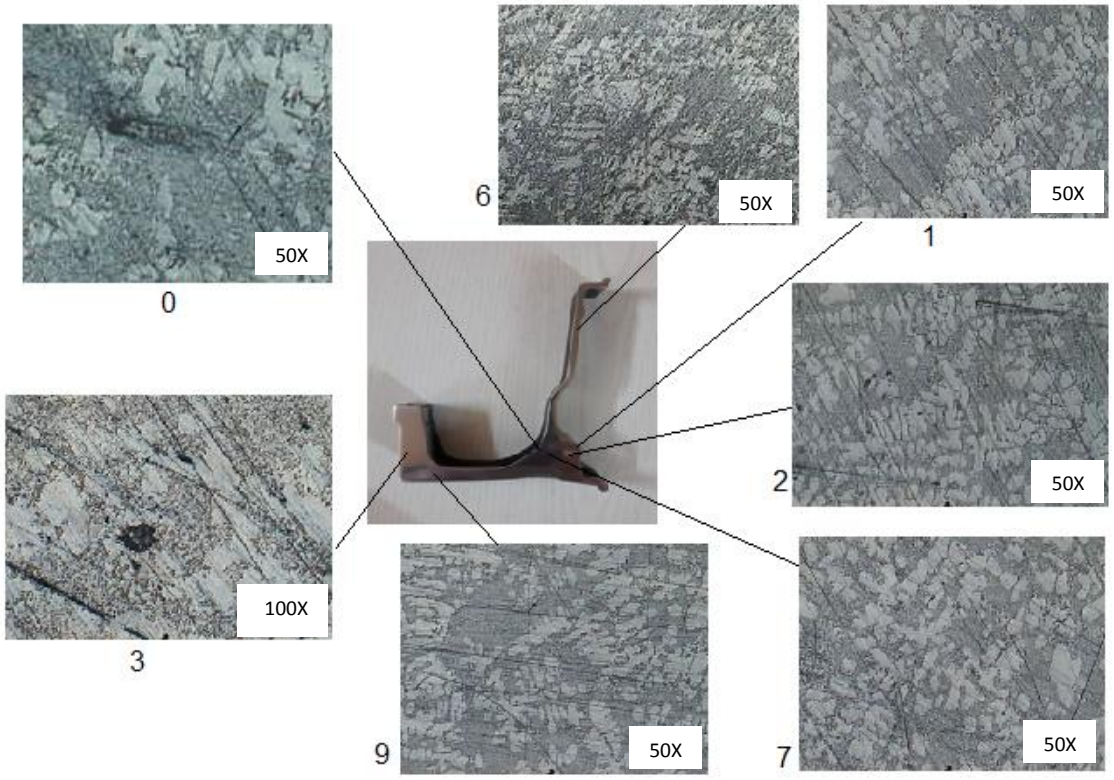
الشكل (9–22) البنى الميكروية لمناطق العينة الثانية

وكما هو موضح بالصور في الشكل **(9–22)** والمكبرة بنسبة (50 مرة) بلورات الألمنيوم البيضاء اللون واليوتكتيك المحيط ذو اللون الغامق نستنتج:

- بالنسبة لنتائج هذه العينة هي نفس نتائج التي توصلنا إليها في العينة الأولى
- الصورة 11 هي من منطقة hot spote والتي تتجمع فيها تقريباً العيوب مع منطقة العيوب الانكماشية أيضاً، حيث يتبين في هذه الصورة عيب يتجلى باللون الأسود وبالتكبير (100 مرة) تنتج الصورة 13 حيث يظهر هذا العيب بشكل أوضح وهو عيب عناصر شائبية دخيلة في المصهور (inclusions) تتجلى باللون الأسود الداكن.
- الصورة 12 من منطقة العيوب الانكماشية وهو عيب انكماشي يتجلى باللون الأسود وهي آخر مناطق تتجمد في المسبوكة (كما شرح في الدراسة العملية السابقة) بسبب إحداثياتها الهندسية وسماكتها الأكبر مقارنة بباقي المناطق.

- نلاحظ ظهور عيوب السكرجة في الصور 9-8-12 والتي شرحت مسبقاً
- نلاحظ من الصورتين 8 و 9 الدندريت المتشكل ذو البنية الخشنة ويعلل ذلك أن هاتين المنطقتين hub و spoke تتجمدان أخيراً وبمعدلات تبريد قليلة.
- الصورة 10 ذات أذرع دندريتية ناعمة ومنتظمة وبدون عيوب جلية ويعلل ذلك لنفس الأسباب التي شرحت في الصورة 4 من العينة الأولى

العينة الثالثة:



الشكل (9-23) البنى الميكروية لمناطق العينة الثانية

وكما هو موضح بالصور في الشكل **(9-23)** والمكبرة بنسبة (50 مرة) بلورات الألمنيوم البيضاء اللون واليوتكتيك المحيط ذو اللون الغامق نستنتج:

- بالنسبة لنتائج هذه العينة هي نفس نتائج التي توصلنا إليها في العينة الأولى ولكن هذه العينة ذات عيوب أقل من العينتين السابقتين حسب عملية البحث المجهري.
- بشكل عام يتضح أن بنية منطقة rim flange (المبينة بالصورة 6) هي أنعم البنى الميكروية في العجلة المسبوكة بطريقة (LPDC) ومن ثم تليها المناطق الممثلة بالصور 1 ومن ثم 2 ومن ثم

7 ومن ثم 0 ومن ثم 9 ومن ثم 3 ويعلل ذلك بأن منطقة rim هي أولى المناطق المتجمدة وبمعدلات تبريد جيدة وتدرج حقل حراري جيد وبدون مبردات ومن ثم تليها بقية المناطق ،علاوة على ذلك إن هذه المنطقة رقيقة وبدون سماكة وأبعد المناطق عن بوابة التغذية.

والنعومة هنا تتجلى بأذرع دندريتية ناعمة ودقيقة ومنتظمة وذات أعداد كبيرة كما توضحه الصور.

- الصورة 1 ذات أذرع دندريتية ناعمة ومنتظمة وبدون عيوب جلية أكثر من باقي الصور ويعلل ذلك أن هذه المنطقة قريبة جداً من المبرد الخارجي المتواجد في القالب الجانبي وبالتالي ستتعرض لمعدلات تبريد أكبر من باقي المنطقة وبالتالي ستتجمد أولاً ، وسيعوض النقص الناتج عن عملية الانكماش فيها طالما باقي المناطق المجاورة لها بحالة سائلة ولم تصل لمرحلة التجمد بعد.
- الصورة 2 هي من منطقة hot spote والتي تتجمع فيها تقريباً العيوب مع منطقة العيوب الانكماشية أيضاً، وأغلب هذه العيوب هي عيوب عناصر شائبية دخيلة في المصهور (inclusions) تتجلى باللون الأسود.
- نلاحظ في الصور تين 7 و 0 من منطقة junction وهي منطقة المسامات الانكماشية (آخر مناطق تتجمد في المسبوكة بسبب إحداثياتها الهندسية وسماكتها الأكبر مقارنة بباقي المناطق) وجود عيوب عناصر شائبية دخيلة في المصهور (inclusions) تتجلى باللون الأسود.
- نلاحظ في كل الصور وجود نقاط سوداء ضمن بلورات الألمنيوم البيضاء المتشكلة حيث تعبر هذه النقاط عن عيوب عملية السكرجة أو تسمى الانعزال أو الانفصال الحاصلة ضمن البلورة (sgregation) ونستطيع القول أنها نقاط يوتكتيكية تنفصل عن المصهور داخل البلورة المتشكلة.
- نلاحظ من الصورتين 3 و 9 الدندريت المتشكل ذو البنية الخشنة ويعلل ذلك أن هاتين المنطقتين hub و spoke تتجمدان أخيراً وبمعدلات تبريد قليلة وذات سماكة كبيرة نسبياً. حيث الصورة 3 وبتكبير 100 مرة تظهر عيب عناصر شائبية دخيلة (inclusions) تتجلى باللون الأسود.

9-3 اختبار التحليل الكيميائي للعينات المدروسة:

تم إجراء إختبار التحليل الكيميائي على العينات المدروسة في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية كما يبين ذلك الجدول (9-1):

(9-1) التحليل الكيميائي للعينات المدروسة

العنصر	النسب المثلى	العينة الأولى		العينة الثانية		العينة الثالثة	
Al	المتبقي	89.4	89.8	85.7	85.3	88.5	88.6
Zr	0	0.011	0.014	0.02	0.043	0.023	0.022
V	0	0.018	0.02	0.027	0.05	0.019	0.019
Sr	0	0.333	0.213	0.55	0.50	0.024	0.024
Sn	0	0.027	0.033	0.027	0.033	0.096	0.102
Pb	0	0.031	0.035	0.117	0.315	0.002	0.002
Na	0	0.001	0.001	0.002	0.0039	0.003	0.002
Ti	0.2	0.085	0.088	0.07	0.082	0.062	0.061
Zn	0.1	0.047	0.056	0.052	0.073	0.201	0.194
Ni	0	0.033	0.04	0.052	0.104	0.067	0.067
Cr	0	0.007	0.009	0.01	0.02	0.019	0.019
Mg	0.25-0.45	0.2331	0.304	0.221	0.224	0.57	0.54
Mn	0.1	0.006	0.003	0.008	0.015	0.01	0.009
Cu	0.2	0.9	1	1.06	1.05	0.71	0.60
Fe	0.2	0.42	0.449	0.202	0.21	0.24	0.23
Si	6.5-7.5	7.87	7.98	8.1	8.5	8.2	8.1

من خلال التحليل الكيميائي للعينات ودراستها مجهرياً يتبين لنا مدى أهمية مصنع العجلة من حيث نسب العناصر الداخلة في التركيب وبملاحظتنا للجدول يتبين:

- نسب الحديد في العينة الأولى كبير حيث يصل إلى (0.4%W) وهذه النسبة كبيرة مقارنة بالنسب المعيارية المثلى ومقارنة بالعينة الثانية (0.2%W) والعينة الثالثة (0.23%W)، وهذا مايجعل هذه العجلات (الممثلة للعينة الأولى) أكثر عرضة للكسور وهذا ماتبينه التجارب العملية والحوادث في المركبات الصينية الصنع.

- نسبة عنصر Sr في العينة الثانية يفوق نسبه في العينة الأولى وكما شرحنا مسبقاً أن مهمة هذا العنصر تعديل البنية اليوتكتيكية الهشة الفقيرة للطور α−Al والتي تحوي Si%(13÷5) من الشكل الصفائحي الدائري أو الابري (needle) لجزيئات السيليكون المتجمدة إلى حالة ألياف وخيوط (fibrous phase)، وعندها تتحسن الخواص الميكانيكية وخصوصاً فيما يتعلق بالاستطالة والصلابة ومقاومة الكسور ومقاومة التعب ونمو الشقوق وهذا مايظهر جلياً في العجلات الممثلة للعينة الثانية حيث نلحظ فيها مظاهر الالتواء والانحناء بدون ظهور كسور والشقوق
- نسبة عنصر النحاس في العينة الثانية (1.06%W) يفوق نسبته في العينتين الأولى (1%W) والثالثة (0.65%W) وكما شرحنا مسبقاً أن مهمة هذا العنصر تحسين القساوة والقابلية للمعالجة الحرارية عن طريق تشكيل مركب $CuAL_2$
- نسبة عنصر المغنزيوم في العينة الثالثة (0.55%W) يفوق نسبته في العينتين الأولى (0.25%W) والثانية (0.22%W) وكما شرحنا مسبقاً أن مهمة هذا العنصر تحسين القساوة والقابلية للمعالجة الحرارية ومقاومة الشد والتعب عن طريق تشكيل مركب Mg_2Si

المناقشة والنتائج:

1 – تعد عملية ملء القالب بالمصهور وعملية التجمد من العمليات الهامة جداً لنجاح أي مسبوكة، بالنسبة لعملية الملء يجب ضبطها بشكل جيد بحيث تكون مستقرة وهادئة للحصول على مسبوكة خالية من العيوب الناتجة عن عمليات الاضطراب أثناء الملء، وعملية التجمد تكمن أهميتها من خلال العيوب الناتجة في المسبوكة ككل.

وتبين من خلال الدراسة العملية أن عملية السباكة بالضغط المنخفض تحقق ماسبق من حيث الملء الجيد للمسبوكة وبأقل عيوب ناتجة

2 –إن عيوب تقنية (LPDC) تنحصر في عيوب الانكماش و عيوب الفقاعات الغازية ومن أفضل حلول هذه المشاكل هي القنوات التبريدية الموجودة في أجزاء القالب ككل والتي أدت للحصول على عملية تجمد موجه في المسبوكة ككل (directional solidification)

3 – من خلال التطبيقات الحاسوبية والتجارب تبين أهمية أبعاد فوهة دخول المعدن للقالب ومدى تأثيرها في العيوب الناشئة في منطقة hub من العجلة المسبوكة (آخر منطقة تتجمد في المسبوكة)

4 – اتضح من خلال الدراسة المجهرية للعينات المدروسة أن بنية منطقة rim flange (أعلى منطقة من منطقة rim) هي أنعم البنى الميكروية في العجلة المسبوكة بطريقة (LPDC) ومن ثم تليها المنطقة الوسطى من منطقة rim ومن ثم تليها منطقة junction ومن ثم تليها منطقة spoke ومن ثم تليها منطقة hub ويعلل ذلك بأن منطقة rim هي أولى المناطق المتجمدة وبمعدلات تبريد جيدة، علاوة على ذلك أن هذه المنطقة رقيقة وأبعد المناطق عن بوابة التغذية.

والنعومة هنا تتجلى بأذرع دندريتية ناعمة ومنتظمة وذات أعداد كبيرة كما توضحه صور المناطق القريبة جداً من المبرد الخارجي المتواجد في القالب الجانبي والتي تتعرض لمعدلات تبريد أكبر من باقي المنطقة وبالتالي ستتجمد أولاً، وسيعوض النقص الناتج عن عملية الانكماش فيها طالما باقي المناطق المجاورة لها بحالة سائلة ولم تصل لمرحلة التجمد بعد. وبالنتيجة ستتشكل أذرع دندريتية ناعمة ودقيقة في هذه المناطق وبالتالي سيتم الحصول على بنية دقيقة وبدون عيوب جلية.

5 – من خلال الفحص المجهري ومن أكثر العيوب مشاهدة هي عيوب العناصر الشائبية الدخيلة في المصهور (inclusions) والتي تتجلى باللون الأسود الداكن . وهي عيوب ناتجة عن تزايد نسبة عنصر الحديد كما يبين ذلك جدول التحليل الكيميائي.

6 – من أخطر مناطق بروفيل العجلة المسبوكة هي منطقة الاتصال مابين منطقة rim ومنطقة spoke لأن هذه المنطقة تتعرض لإجهادات كبيرة ومعرضة لتشكل عيوب مسامات انكماشية كما تبين ذلك من خلال الدراسة وهي آخر مناطق تتجمد في المسبوكة بسبب إحداثياتها الهندسية وسماكتها الأكبر مقارنة بباقي المناطق.

7 – من العيوب التي تنشأ بكثرة في مسبوكات عجلات الألمنيوم هي عيوب السكرجة ضمن البلورة (sgregation) والتي هي عبارة عن نقاط يوتكتيكية تنفصل عن المصهور داخل البلورة المتشكلة.

التوصيات:

1 – من الأمور الهامة والتي يجب على الباحث متابعتها فيما يخص مسبوكات عجلات الألمنيوم هي دراسة الاختبارات بشكل عام (الصدم – الضغط – التعب – القساوة – XRD.....) لما لهذه الاختبارات من أهمية في تحديد المعايير الخاصة للمسبوكة الناتجة.

2 – فيما يخص التبديد الحراري لمادة المسبوكة يمكن للباحثين لاحقاً دراسة أنواع المعادن والتي تتمتع بمعامل انتقال حراري جيد للحصول على نتائج جيدة ولإطالة عمر المكابح والتي تُستهلك بشكل كبير في المركبات.

3 – محاولة إيجاد طرائق بديلة فيما يخص عملية طرد الغازات (degassing) بسبب التكلفة العالية للمواد المستخدمة في تلك العملية نظراً لأهمية هذه العملية في تقليص عيوب المسامات الناتجة.

4 – دراسة الخواص الميكانيكية بشكل كامل نظراً لأهميتها في تحديد مجالات استخدام المسبوكة الناتجة ومدى توافقها مع الوظيفة المخصصة لها.

المراجع:

[1] D.M. Maijer، S.L. Cockcroft B. Zhang.(،2007) "Development of a 3-D thermal model of the low-pressure die-cast (LPDC) process of A356 aluminum alloy wheels . "Canada: Materials Science and Engineering A 64 (2007) 295–305.

[2] J. L. Murray.A. J. McAIister.(1984) ."The AI-Si (Aluminum-Silicon) System ". Bulletin of Alloy Phase Diagrams Vol. 5 No. 1.

[3] J. Urban، B. Bonatto، M. Botter F. Bonollo (2005) ."Gravity and low pressure die casting Gravity and low pressure die casting Gravity and low pressure die casting "italy.

[4] John A. Taylor ."The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys ".Australia: The University of Queensland Brisbane، Australia.

[5] John C. Stearns .(2000) ."An Investigation Of Stress And Displacement Distribution In A Aluminum Alloy Automobile Rim" .Akron: Faculty of The University of Akron.

[6] Lozano.J.Voort.G ."USING MICROSTRUCTURAL ANALYSIS TO SOLVE PRACTICAL PROBLEMS ".Spain: Buehler Vol5،issue 1.

[7] M FALIQFARHAN.(2008) ."SIMULATION TEST OF AUTOMOTIVE ALLOY WHEEL USING COMPUTER AIDED ENGINEERING SOFTWARE ".Malaysia : Faculty of Mechanical Engineering University Malaysia Pahang.

[8] M،Timelli b،G. Bonollob،F، Garagnania،G.L Merlina، .(2009)"Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels " .Vicenza، Italy: journal of materials processing technology 2 0 9 (2 0 0 9) 1060-1073

[9] M.Xiangyu،L.Kuangfei،W.Hengzhi،F Guofa.(2009) ."Numerical simulation of low pressure die-casting aluminum wheel ".china: CHINA FOUNDRY Vol.6 No.1 (2009)48-52.

[10] R Lee.(2006) ."effect of cooling circuit duration of formaion of solidification shrinkage in A356 casting automotive wheels ".Auckland: Auckland university of technology ،school of engeneering.

[11] T. Sakoda،S Sotome ، .(2007)،"Development of Manufacturing Technology for Precision Compressor Wheel Castings for Turbochargers ".china: Furukawa Review، No. 32 (2007): 56-60.

[12] ÇETİNEL،M، (2001)،" Investigation and Development of the Quality Control of Al-Wheel Rim Production Process"Ismir، Izmir Institute of Technology

[13] Colton.J.S،(2011)،" Casting Defects and Design Issue" ،Georgia institute of technologyME 6222: Manufacturing Processes and Systems، Grorgia

[1] عازار،فؤاد. (2010)." السباكة –Casting". دمشق: كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

[2] يعقوب،محمد مازن (2000)." السباكة". دمشق: جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

[3] يعقوب،محمد مازن. (2000)" طرائق تصنيع / 2/". دمشق: جامعة دمشق–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.الجزء الأول

[4] يعقوب،محمد مازن. (2000)" طرائق تصنيع / 2/". دمشق: جامعة دمشق–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.الجزء الثاني

التطبيقات الحاسوبية:

[1] Autodesk mechanical desktop 2006Basic ،USA
[2] Image pro plus Version 6.0.0.260
[3] Click2Cast_4.0.1.108st

Abstract:

This thesis presents Studying and evaluating the production of automotive wheels from aluminum alloy (A356.0) by low pressure die casting (LPDC) technique because of importance of this way in getting practical products with low percentage of defects especially for aluminum wheels products.

The study was applied by using previous researches, software applications and simulation process to draw wheel. Then by doing chemical analysis to get elements concentration and practical examinations on micro structure of samples that previously casted for getting how effect the elements percentage in structure and defects.

Finally, optimum parameter was concluded for process as to (filling time – solidification time – temperature degree …….).

Micro structure was evaluated by frequent defects like (inclusion – shrinkage ……) and importance the function of external cooling in reducing this defects.

syrian arab republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of mechanical designing Engineering

Studying and evaluating the production of automotive wheels from aluminum alloy (A356.0) by low pressure die casting (LPDC)

Studying prepared to get master degree in materials science by

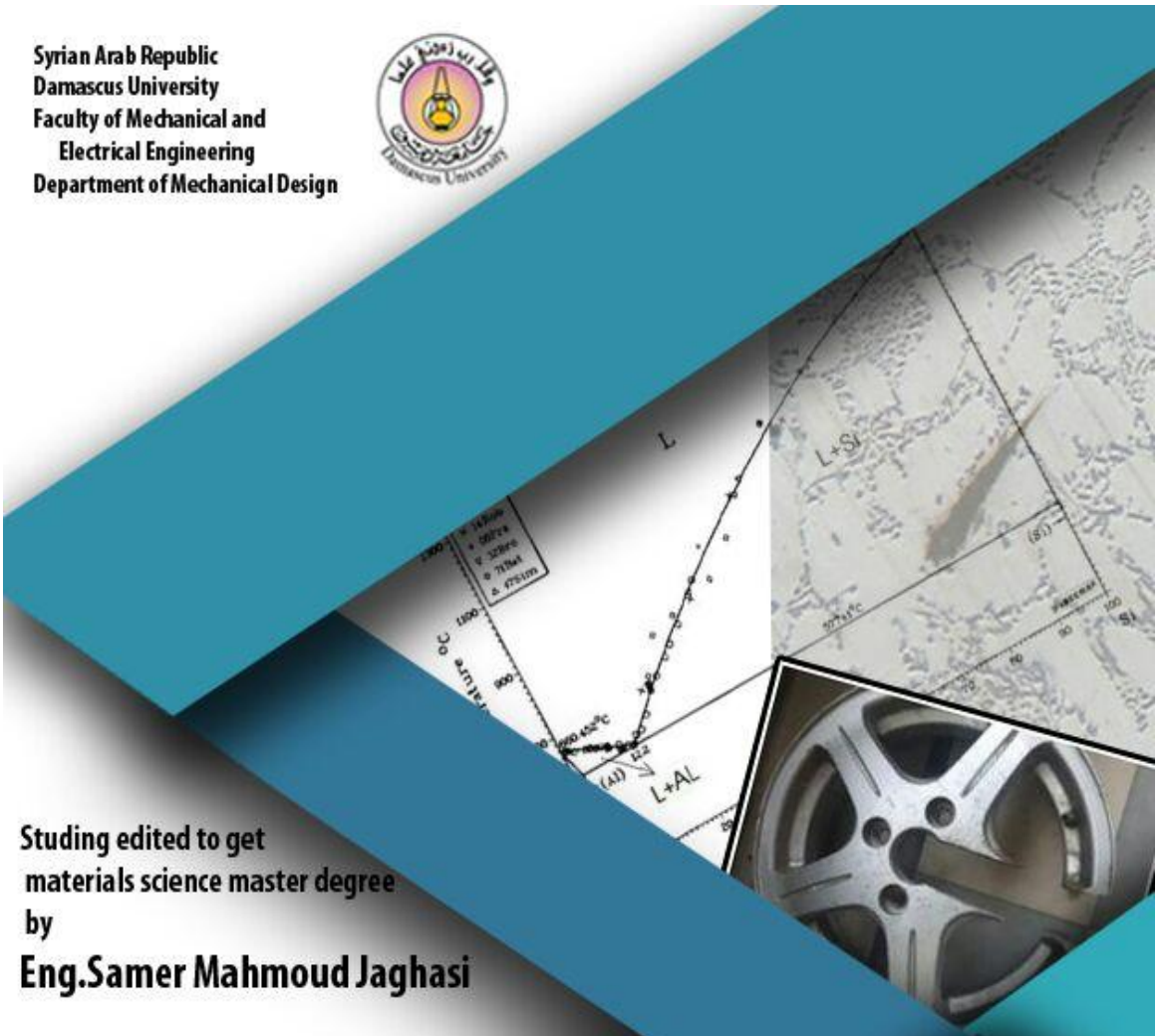
Eng.Samer Mahmoud Jaghasi

Supervised by

Dr. Mohamad Mazen Yakoub

2018 **G**

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical and
Electrical Engineering
Department of Mechanical Design



Studing edited to get
materials science master degree
by

Eng.Samer Mahmoud Jaghasi

Supervised by

Dr.Mohamad Mazen Yakoub

2018

Study and evaluating the production of automotive weels from aluminum alloy (A356.0) by low pressure die casting (LPDC)